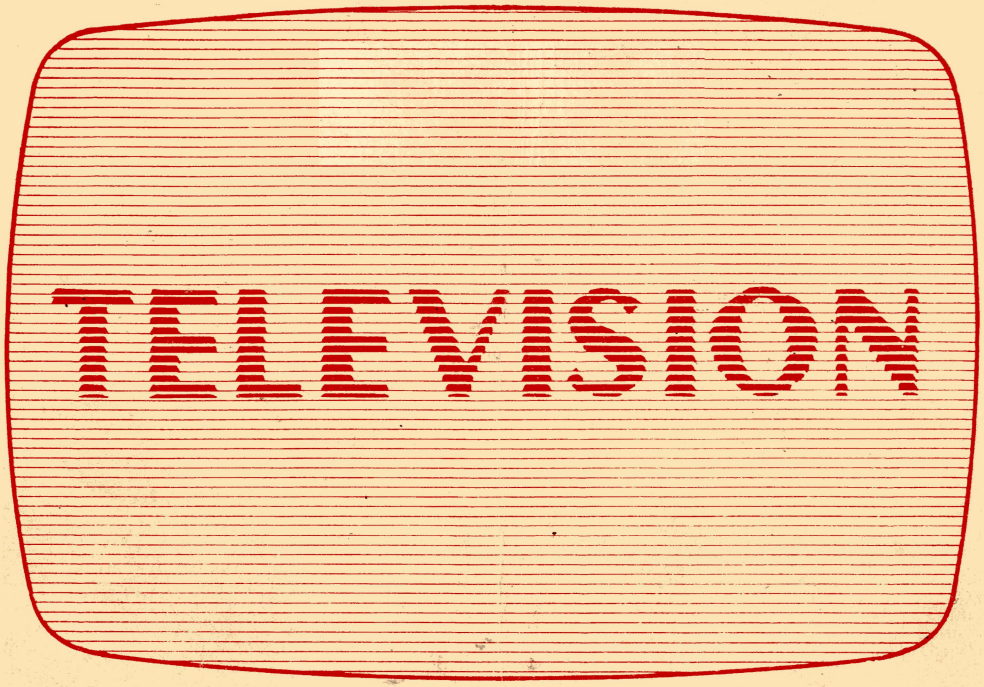
J. PARDIES



EMISSION - RECEPTION
CIRCUITS MODERNES DE BALAYAGE

Préface de M. CAU

FOUCHER - PARIS

J. PARDIES
Licencié ès Siences
Ingénieur de l'École d'Électronique et de Radioélectricité
de la Faculté des Sciences de Bordeaux
Chargé de Cours à la Faculté et à l'E. R. B.

TÉLÉVISION

1re PARTIE

Émission - Réception
Circuits modernes de balayage

Préface de Marcel CAU
Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux
Directeur de l'École de Radioélectricité et d'Électronique

LES ÉDITIONS FOUCHER
128, rue de Rivoli, Paris

FOUCHER

M. MOUNIC	**Électronique industrielle** 3 volumes
MOUNIC et MONFORT	**Solutions des problèmes du tome II d'électronique**
MOUNIC et RICARD	**Travaux pratiques d'électronique** 2 fascicules
P. THUREAU	**Électronique de base à l'usage des non-électroniciens**
J. PARDIÈS	**La télévision** - 2 volumes
TINEL et DE LUCA	**Le dessin et le schéma en construction électronique**
FRAÏSSÉ et MOUNIC	**Mathématiques**
MONTEILLER et PEUTEMAN	**Travaux pratiques de servo-mécanismes**

Le livre au service du Métier

PRÉFACE

Réalisant des rêves anciens, et après des tâtonnements nombreux et prolongés, la télévision a dès à présent atteint un niveau technique élevé.

Si la plupart des utilisateurs actuels y trouvent une source de distraction et d'information, elle peut être un moyen puissant d'éducation (ou même de déformation) et rendre d'énormes services en bien des domaines.

La qualité des transmissions « en noir et blanc » peut être excellente ; plus compliquée, la télévision en couleurs est déjà très satisfaisante et précieuse par exemple pour l'enseignement médical et chirurgical. Souvent un appareil capteur d'images bien placé permet des observations qui seraient autrement incommodes ou dangereuses, par exemple près des réacteurs nucléaires.

Certes, de même que beaucoup de conducteurs d'automobiles se contentent de connaître les commandes mises à leur disposition et les effets qu'elles peuvent produire, de même la plupart des « téléspectateurs » utilisent les quelques boutons apparents de leurs appareils sans s'occuper du reste : cela vaut d'ailleurs mieux pour l'appareil — et pour les techniciens qui devront les réparer en cas de panne.

Pourtant une connaissance des appareils utilisés et de leur fonctionnement peut être désirée, non seulement par les élèves techniciens, mais aussi par toute personne qui aime comprendre ce qui se passe entre la scène télévisée et son image sur l'écran.

C'est aux uns et aux autres que peut s'adresser l'ouvrage que je suis heureux de présenter.

Je connais depuis déjà longtemps la vocation électronicienne de M. J. PARDIES. J'ai pu apprécier son travail et ses progrès dans l'approfondissement de ses connaissances.

Aujourd'hui il peut faire bénéficier le lecteur des résultats de ses réflexions et de son expérience d'enseignement.

La place étant limitée, il a justement renoncé à développer l'historique de la télévision et les tâtonnements passés, utiles certes, mais sans grand effet souvent sur les solutions utilisées aujourd'hui. Ou encore les tentatives de prévision des progrès à venir. Il se contente sagement d'exposer l'état actuel des techniques, et cela sous une forme que je juge à la fois très sérieuse et agréable, précise mais sans calculs difficiles.

Une certaine initiation de base est évidemment nécessaire pour bien profiter d'un tel exposé : il en est de même pour tous les ouvrages sérieux. Cette initiation pourra être acquise avec l'aide d'excellents ouvrages de la même collection.

J'estime que M. PARDIES a fait œuvre utile et je souhaite que le résultat de son travail rencontre le succès qu'il mérite.

M. CAU,
Professeur à la Faculté des Sciences
de Bordeaux,
Directeur de l'École d'Électronique
et de Radioélectricité de la Faculté.

AVERTISSEMENT

Le présent ouvrage est destiné, plus spécialement, comme tous les volumes de la collection, à la formation des agents techniques de niveau assez élevé. Son contenu et son esprit sont conformes à ceux du programme officiel de préparation au brevet de technicien électronicien. C'est dire que, quoique traitant du sujet apparemment restreint qu'est la télévision, il est rédigé de manière à exposer ou à préciser un certain nombre de questions d'électronique générale. La télévision sert ainsi de prétexte pour aborder les problèmes de larges bandes, de régimes transitoires, etc., que l'on rencontre couramment dans l'électronique moderne. Pour rester dans l'esprit d'une formation générale des techniciens, et aussi pour que les questions traitées ne tombent rapidement en désuétude, nous avons surtout cherché à dégager des principes de base solides, souvent même en revenant à certaines questions d'électricité ou de physique, que les techniciens trop « électroniciens » ont tendance à oublier à côté des détails plus ou moins importants qui les cachent. Ceci ne nous a pas empêché de décrire avec précision les montages actuellement utilisés dans les appareils.

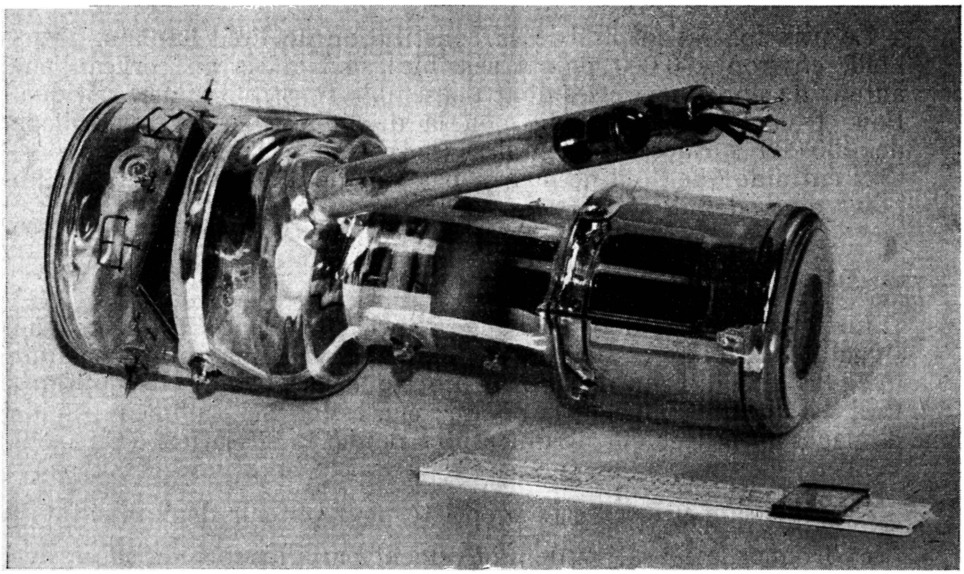
C'est pour nous rapprocher de ce but que, à la demande de M. M. Mounic, Directeur de la collection, cet ouvrage a été scindé en deux fascicules. Le premier contient les chapitres spécifiquement « télévision ». Il y gagne en clarté et, de toute façon, le lecteur doit, pour en tirer un profit complet, être déjà au courant des principes de base de l'électronique : amplification en basses et hautes fréquences, redressement, oscillations, circuits électriques.

Toutefois, cet ouvrage s'adresse aussi à une autre catégorie de lecteurs : ceux qui veulent connaître les fondements précis de la télévision actuelle, par curiosité, sans chercher à devenir des techniciens. Ces lecteurs pourront, sans difficulté, suivre la plupart des raisonnements, car nous nous sommes appuyés, autant que possible, sur les bases connues de tous ceux possédant un minimum de culture générale scientifique.

En pensant aux lecteurs, nous ne saurions trop remercier ici le Directeur de la collection, pour son activité peut-être cachée, mais considérable, et à qui nous devons en grande partie la clarté de tous les ouvrages, tant pour la présentation que pour les démonstrations. Rendons-lui aussi hommage pour le travail si fastidieux et également obscur de la correction des fautes de typographie et de... français!

Le second fascicule traitera des questions d'électronique générale ayant surtout un développement en télévision : amplificateurs à large bande, générateurs à relaxation. Ces questions n'étant pas spécifiquement « télévision », sont susceptibles d'intéresser une autre catégorie de techniciens plus « généraux ». C'est pourquoi nous les avons groupées dans un volume séparé.

J. P.



(Doc. Compagnie Française Thomson Houston).

Tube analyseur supériconoscope

I. — ANALYSE ET REPRODUCTION ÉLECTRONIQUES DES IMAGES

A. — Principes généraux de la télévision

1 — PRINCIPES DE BASE DE LA TRANSMISSION D'UNE IMAGE.

L'idée de télévision est aussi ancienne que celle de la transmission des sons. NIPKOW, en 1884, suggéra un procédé, irréalisable à l'époque, faute de moyens techniques. Le développement de l'électronique devait déterminer celui de la télévision.

Le principe est inspiré de la constitution de l'œil humain. Dans l'œil, environ 400 000 points sensibles sont reliés au cerveau par autant de fibres nerveuses dont l'ensemble constitue le nerf optique. Pour transmettre une image, on la décompose en un quadrillage de 400 000 surfaces élémentaires fictives que l'on appelle *points*. Ceci entraîne que l'œil ne pourra pas voir de détail plus petit qu'un *point* ainsi défini.

2 — TRANSMISSION D'IMAGES ANIMÉES.

L'œil est le siège du phénomène appelé *persistance rétinienne :* un signal lumineux perçu par l'œil procure une sensation qui ne disparaît que plus d'un dixième de seconde après que le signal ait été supprimé. Ceci est utilisé au cinéma, où une succession suffisamment rapide d'images fixes légèrement différentes donne la sensation d'un mouvement continu.

La télévision utilise cette propriété pour obtenir deux résultats :

a) Donner la sensation de mouvement par transmission successive et assez rapide d'images légèrement différentes, comme au cinéma.

b) Transmettre successivement les 400 000 points de chacune de ces images, la persistance assurant encore à l'œil la vision du premier point transmis lorsque l'on est en train de transmettre le dernier. L'œil conserve ainsi une vue globale de cette image. Cette décomposition de l'image s'appelle *analyse* ou *exploration.*

En Europe, les différents points de l'image sont transmis successivement au cours d'un vingt-cinquième de seconde et les images ainsi constituées se succèdent donc à raison de 25 par seconde.

3 — EXPLORATION OU BALAYAGE DE L'IMAGE.

Pour transmettre successivement les points d'une image, il faut adopter un ordre, en quelque sorte un code, permettant la reconstitution de cette image à la réception. Cette exploration s'effectue à la manière de la lecture d'une page de livre.

La figure 1 donne l'exemple précis d'une image à 88 points, numérotés dans l'ordre de transmission. Lorsque l'on a transmis les 88 points, ce qui a demandé 1/25^{e} de seconde, on repasse du point n^{o} 88 au point n^{o} 1 pour transmettre l'image suivante.

Cette analyse se fait donc *ligne par ligne*, la ligne étant une succession horizontale de « points ». Ce procédé, entièrement arbitraire, est adopté par tous les systèmes de télévision actuellement existants.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15							22
23										33
78										88

FIG. 1. — *Ordre d'exploration d'une image.*

4 — RECONSTITUTION DE L'IMAGE A LA RÉCEPTION.

Un dispositif devra placer les divers points successivement et dans l'ordre sur l'écran de réception, et leur donner la luminosité qu'ils avaient dans la scène visée à l'émission.

En outre, cette reconstitution doit se faire rigoureusement *en synchronisme* avec la décomposition opérée à l'émission, pour que chaque point de l'image reproduite corresponde bien au même point de l'image analysée. S'il n'en était pas ainsi, la réception fournirait un assemblage désordonné de points de diverses luminosités, dans lequel on ne reconnaîtrait aucun détail de l'image initiale.

En résumé, il faut donc transmettre simultanément deux signaux :

— l'un proportionnel à la luminosité du point transmis : c'est le ***signal de lumière;***

— l'autre situant le point transmis à la même place que dans l'image analysée : c'est le ***signal de synchronisation.***

L'ensemble de ces deux signaux s'appelle ***signal de vidéofréquence.*** *ou usuellement* ***vidéofréquence.***

5 — ACUITÉ VISUELLE — NOMBRE DE LIGNES OPTIMUM.

Le système sera évidemment parfait si l'œil, placé à une distance convenable de l'image, ne peut distinguer des détails plus petits que la dimension des points.

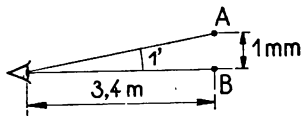


FIG. 2. — *L'acuité visuelle est de une minute d'arc.*

Or, l'œil voit deux points A et B séparés (fig. 2) si leur distance angulaire est supérieure à 1 minute environ. Cet angle de $\frac{1}{3440}$ radian, qui mesure l'acuité visuelle d'un œil normal, correspond, pour deux points situés à 3 mètres, à une distance :

$$AB = \frac{3}{3440} \text{ m soit environ 1 mm.}$$

Pour que la vision soit agréable, une image située à 3 mètres doit avoir environ 50 cm de côté. Dans ces conditions, les lignes ne sont plus visibles si deux d'entre elles sont séparées par un intervalle obscur de moins de 1 mm de hauteur ce qui conduit à plus de 500 lignes (1).

En réalité, ce nombre est largement insuffisant parce que :

a) L'analyse par lignes horizontales fait apparaître une structure striée de l'image qui ne disparaît vraiment qu'avec un plus grand nombre de lignes.

b) Pendant un nombre appréciable de lignes, de l'ordre de 10 %, à la fin de chaque analyse, le signal de lumière est interrompu, pour permettre l'envoi des signaux de synchronisation.

Finalement, il s'ensuit que le nombre optimum de lignes se situe aux environs de 800 (819 en France). Bien entendu ce nombre est contestable, à cause des considérations assez subjectives qui y conduisent ; certains pays ont adopté un nombre de lignes inférieur procurant entre autres avantages un moindre prix de revient des installations.

---

(1) On peut remarquer que ceci ne donne que 250 000 points, alors que l'œil peut en distinguer 400 000. C'est que l'image de 50 cm devrait normalement s'observer à beaucoup moins de 3 m pour être vue dans les meilleures conditions. Toutefois, pour des raisons économiques, on admet que le téléspectateur se trouve, comme au cinéma, à une distance relativement grande de l'écran.

6 — PAPILLOTAGE — ANALYSE ENTRELACÉE.

Au cinéma, le nombre d'images par seconde est de 24. Or la persistance rétinienne est de 1/10 de seconde. Cet écart est dû à ce que la succession d'images brillantes donne une sensation de papillotage, ce qui a conduit à augmenter la fréquence des images, alors que la reproduction du mouvement ne l'exigerait pas.

Le papillotage, *qui augmente avec la brillance des images*, est devenu plus gênant avec les progrès des écrans, de plus en plus lumineux.

En télévision, en outre, un seul point de l'image est illuminé à chaque instant et non toute l'image comme au cinéma. Le papillotage est donc plus gênant encore, et ne disparaît, avec l'analyse simple, que pour une fréquence des images supérieure à 25.

Pour des raisons économiques, on préfère conserver la fréquence 25 et supprimer le papillotage par **l'analyse entrelacée :** transmission pendant 1/50 de seconde de toutes les lignes impaires (*trame impaire*), puis pendant le 1/50 de seconde suivant, de toutes les lignes paires (*trame paire*).

Après 1/25 de seconde, on a donc analysé tous les points, mais la lumière a été répartie, à chaque 1/50 de seconde, sur toute la surface de l'écran. Par contre, le nombre d'images complètes par seconde est toujours de 25 avec deux trames entrelacées par image.

La fréquence des images est de 25 *et celle des trames est de* 50.

B. — Balayage ligne par ligne à l'aide d'un faisceau cathodique

Le lecteur se reportera aux ouvrages traitant de la déviation des faisceaux électroniques par les champs magnétiques et électriques [1].

1 — RAPPEL DES LOIS DE LA DÉVIATION.

a) *Champ électrique perpendiculaire au faisceau :* le faisceau est dévié dans un plan parallèle au champ (fig. 3).

---

[1] Électronique Industrielle MOUNIC Tome 1 (par exemple).

En appelant V la différence de potentiel entre les plaques de déviation, et V_a la tension d'accélération du faisceau, on a :

$$x = \frac{lD}{2V_a} \frac{V}{d}.$$

b) *Champ magnétique perpendiculaire au faisceau :* le faisceau est dévié dans un plan perpendiculaire au champ. Si B est l'induction, on a, avec les mêmes notations :

$$x = \sqrt{\frac{e}{2m}}\, lD \frac{B}{\sqrt{V_a}}$$

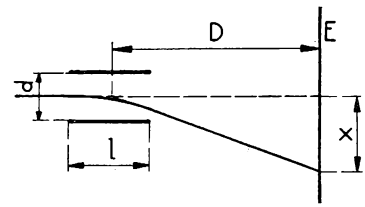


FIG. 3. — *Déviation d'un faisceau électronique par un champ électrique.*

En résumé, qu'elle soit électrique ou magnétique, la déviation comptée linéairement sur l'écran est proportionnelle aux champs. Seule, cette déviation présente un intérêt en télévision.

2 — EN TÉLÉVISION, LE SPOT SE DÉPLACE A VITESSE CONSTANTE SUR L'ÉCRAN, SUR DES TRAJECTOIRES RECTILIGNES INCLINÉES.

a) L'exploration des « points » d'une ligne ne se fait pas point par point, ce qui serait très compliqué à réaliser, mais de **façon continue** (fig. 4).

Pour tracer une ligne (succession de points), le spot se déplace à vitesse constante de gauche à droite. Il passe progressivement d'un point au suivant. C'est pourquoi ces « points », fort commodes pour le raisonnement, n'ont pas d'existence réelle.

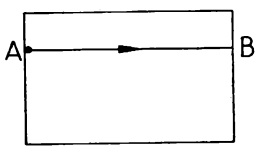


FIG. 4. — *Le spot décrit à vitesse constante des lignes continues, telles que AB.*

b) L'exploration successive des lignes nécessite un déplacement vertical du spot, de haut en bas, à vitesse constante.

c) Les deux déplacements exigent donc un champ X agissant horizontalement et un champ Y agissant verticalement, donc perpendiculairement l'un à l'autre. Pour des raisons de facilité, ces deux champs agissent *simultanément*, quoique *indépendamment* sur le faisceau. Il en résulte que le spot ne circule pas horizontalement, mais à la fois vers la droite et vers le bas.

3 — PARCOURS DU SPOT — ANALYSE SIMPLE.

Le spot circule à vitesse constante (fig. 5), de 1 à 1′, de gauche à droite grâce au champ X.

En 1′, il est descendu de la hauteur d'une ligne, grâce au champ Y. Également en 1′, le champ X reprend brutalement la valeur qu'il avait en 1, ce qui replace *quasi instantanément* le spot à gauche, mais bien entendu en 2.

Le trajet 1-1′ est l'*aller* ; le trajet 1′-2 est le *retour de ligne.*

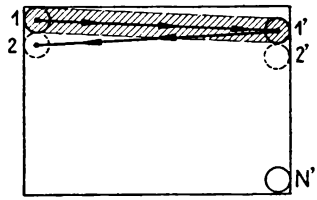


FIG. 5. — *Le spot, représenté sur la figure par le petit cercle, se déplace le long de lignes inclinées. En trait plein : le trajet du centre du spot ; en hachures : une ligne, dont l'épaisseur est égale au diamètre du spot.*

De 2 à 2′ on observe les mêmes phénomènes et ainsi de suite, jusqu'en N′, dernier point de la dernière ligne : l'analyse est terminée.

Le spot est alors ramené très rapidement en 1. Il faut pour cela que les deux champs X et Y reprennent brutalement la valeur qu'ils avaient lorsque le spot se trouvait au point 1. On obtient ainsi simultanément le retour de ligne et le *retour d'image.*

REMARQUE — Les allers de ligne sont faiblement inclinés puisque le nombre de lignes est élevé. Ainsi, le spot descend de 1/2 mm pour 50 cm si on dispose de 1 000 lignes.

Par contre, les retours de ligne, beaucoup plus rapides, sont pratiquement horizontaux, le spot n'ayant pas le temps de descendre de façon appréciable.

4 — ANALYSE ENTRELACÉE.

Pour simplifier le dessin, nous ne tracerons que la trajectoire du centre du spot.

La trame impaire est tracée tout d'abord, comme indiqué au § (3) mais le spot descend de *deux* épaisseurs de ligne, entre 1 et 1′ (fig. 6), pendant le tracé de la ligne. La dernière ligne impaire

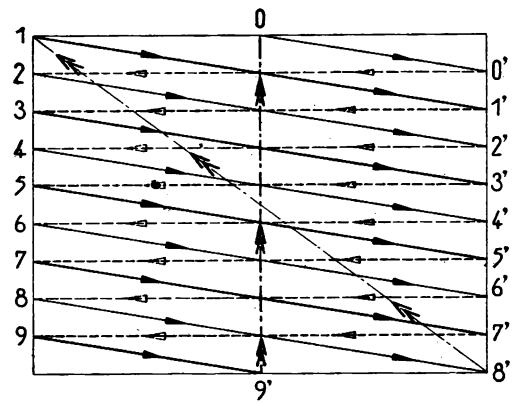


FIG. 6. — *Principe de l'analyse entrelacée.*

est tracée jusqu'au milieu. A cet instant, le champ Y, judicieusement *synchronisé*, rappelle le spot vers le haut, donc en 0, et la ligne commencée se termine en 0 0′, car l'action du champ X a continué. En 9′, il y a donc eu retour de trame, *mais non retour de ligne.*

De 0′, le spot retourne vers 2, et débute la trame paire, qui se termine en 8′ en même temps que la dernière ligne. On assiste alors à un retour de ligne et à un retour de trame, les champs X et Y ramenant le spot en 1.

L'image est maintenant complètement analysée ; l'analyse de la suivante commence.

REMARQUE — Dans ce système d'analyse entrelacée, le nombre total de lignes d'une image doit être impair.

5 — TRAJECTOIRE RÉELLE DES RETOURS DE TRAME.

Nous venons de supposer que les retours de bas en haut dus au champ Y sont pratiquement instantanés.

En réalité, un retour de trame dure autant que plusieurs lignes. Le champ X continuant d'agir indépendamment, oblige le spot à remonter en traçant des lignes, donc en zigzag.

On peut remarquer que si l'analyse est entrelacée, les deux retours de trame le sont nécessairement.

C. — Tubes analyseurs d'image
Iconoscope

Pour analyser successivement les quelques 400 000 points, on peut envisager de former l'image, à l'aide d'un objectif, sur un tableau tapissé de 400 000 petites cellules photoélectriques, que l'on branchera successivement dans l'ordre voulu sur la ligne de transmission, à l'aide d'un procédé électronique, à cause de la rapidité exigée. C'est ce que réalise l'*iconoscope* de ZWORYKIN, dispositif fondamental de la télévision.

1 — DESCRIPTION.

Ce tube comprend dans une ampoule vidée (fig. 7) :

a) *un canon électronique* C procurant un faisceau, pouvant être dévié par deux champs X et Y produits dans la zone B du tube ;

b) *une mosaïque* M, pièce essentielle sensible à la lumière, pouvant être explorée point par point à l'aide du faisceau ;

c) *une anode* A destinée à recueillir les électrons secondaires et autres.

Un objectif situé devant le tube, forme sur la mosaïque une image de la scène à transmettre.

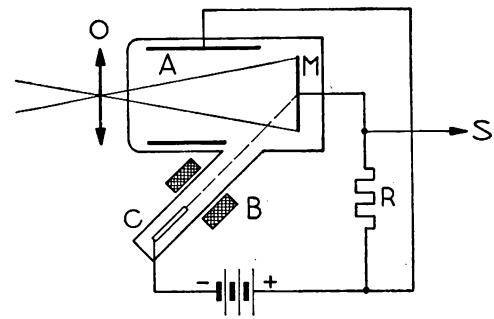


FIG. 7. — *L'iconoscope : O, objectif ; A, anode collectrice ; M, mosaïque ; C, canon électronique ; B, bobines déviatrices ; R, résistance de charge ; S, sortie du signal de lumière.*

La mosaïque est une feuille isolante (mica) sur laquelle on a déposé (fig. 8) :

a) d'un côté, *une couche métallique conductrice*, appelée *plaque-signal ;*

b) de l'autre côté, *une couche de grains d'argent isolés* électriquement entre eux, et *sensibilisés à la lumière* par un dépôt de césium. Chacun de ces grains constitue une minuscule cellule photoélectrique, et aussi un petit condensateur avec la plaque signal.

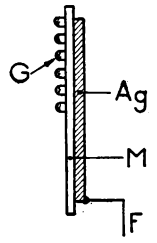


FIG. 8 *a*. — *Détail de la mosaïque (vue en coupe) : G, grains d'argent au césium, isolés entre eux ; Ag, couche d'argent conductrice ; M, feuille de mica ; F, fil de sortie.*

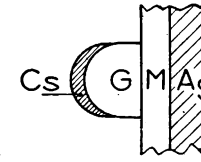


FIG. 8 *b*. — *Coupe d'un grain ; Cs : couche de césium.* ⟶

2 — FONCTIONNEMENT.

Chaque grain de la mosaïque est éclairé par le point correspondant de l'image. Il émet des électrons par effet photoélectrique. Ces électrons sont captés par l'anode, et, ainsi, le grain d'argent est chargé positivement (perte de charges négatives).

Tous les grains de la mosaïque sont donc chargés positivement et *proportionnellement à leur éclairement.* Leur état électrique constitue ce qu'on appelle l'**image électrique.**

Lorsque, au cours de l'exploration, le faisceau survient, il recharge chaque grain négativement. Chaque grain voit donc sa charge varier d'une quantité d'autant plus grande qu'il avait perdu plus de photoélectrons (1). Cette variation est transmise à la plaque signal, qui constitue l'autre armature de chacun des minuscules condensateurs. Cette plaque est donc soumise successivement à toutes les variations de charge provoquées par l'exploration des grains. L'écoulement de ces charges produit dans la résistance R une tension proportionnelle à l'éclairement. Il est nécessaire d'amplifier cette tension avant de la transmettre.

3 — TUBES MODERNES.

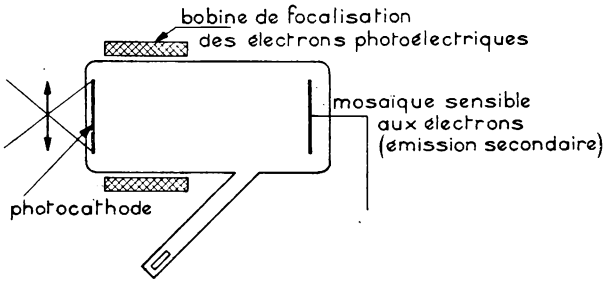


FIG. 9. — *Le supericonoscope.*

Ce sont :

a) **Le supericonoscope.** La sensibilité de l'iconoscope réalisé par Zworykin était faible. Actuellement, on emploie le supericonoscope (fig. 9), dans lequel on a séparé les fonctions photocathode et mosaïque. On peut ainsi profiter de l'effet multiplicateur par émission secondaire. La tension d'accélération des électrons est de l'ordre de 1 000 V.

b) **L'orthicon,** qui est un tube à faible tension d'accélération (200 V), dans lequel il n'y a pas d'émission secondaire.

c) **L'image-orthicon**, qui est dérivé du précédent, et comporte une amplification par multiplicateur d'électrons.

d) **Le vidicon,** qui utilise, non pas l'émission photoélectrique, mais la variation de conductivité de certains semi-conducteurs (sélénium gris) sous l'effet de la lumière. Ces tubes sont plus sensibles que l'œil humain, mais ont une inertie qui interdit pour l'instant leur emploi en télévision à grand nombre de « points » d'image.

Ces derniers tubes sont décrits au chapitre « Technologie », à la fin de cet ouvrage (p. 139).

(1) En réalité, le fonctionnement est beaucoup plus complexe, car l'impact du faisceau provoque une émission secondaire, ainsi qu'une charge d'espace au voisinage de la mosaïque.

D. — Le tube de réception [1]

Ce tube ne diffère pas, dans son principe, des tubes d'oscillographie, sauf dans les agencements accessoires.

1 — LE TUBE CATHODIQUE DE TÉLÉVISION EST A DÉVIATION MAGNÉTIQUE.

Dans les tubes à déviation électrostatique (oscillographe), le faisceau se déconcentre très vite dès que l'angle de déviation atteint une dizaine de degrés, soit $\frac{10}{57}$ radian. Un tube dont l'écran aurait 50 cm de diamètre devrait avoir une longueur de près de 2 mètres.

D'autre part, les écrans actuels sont très brillants, grâce à une forte tension d'accélération. Or, celle-ci joue un rôle important dans la valeur de la déviation ; les formules montrent que la déviation magnétique est préférable car elle est inversement proportionnelle à la racine carrée de la tension d'accélération et non à la tension à elle-même, comme la déviation électrostatique.

L'angle de déviation, annoncé par les fabricants, correspond à la diagonale de l'image. Il est passé en quelques années de 70° à 110° et plus. Ainsi, pour une déviation dite de « 90° », le faisceau est réellement dévié de 85° horizontalement et de 68° verticalement.

Ces angles de déviation importants se sont traduits par un raccourcissement considérable des tubes, donc un moindre encombrement des récepteurs.

2 — LE TUBE SE COMPOSE DE TROIS PARTIES ESSENTIELLES.

La portion cylindrique du tube (fig. 10) ne comprend que le canon électronique C [2].

Elle supporte un ensemble de bobines D créant les champs déviateurs, et accessoirement, dans les tubes anciens, une bobine axiale B créant un champ parallèle au faisceau électronique, et destiné à le concentrer.

L'écran est un rectangle bombé à coins arrondis et à côtés convexes pour mieux résister à la pression atmosphérique.

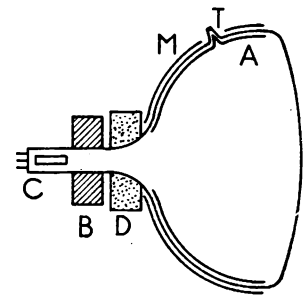


FIG. 10. — *Le tube cathodique reproducteur d'images.*

---

(1) Appelé souvent *tube-image*, *cathoscope* ou *kinescope*.
(2) Mounic : Électronique Industrielle Tome 1.

L'ampoule raccorde l'écran au col du tube. Elle est tapissée intérieurement d'une couche conductrice A y maintenant un potentiel constant qui assure un faisceau d'électrons rectiligne. Cette couche est reliée à la dernière anode du canon et collecte les électrons du faisceau, ainsi que les électrons secondaires arrachés à l'écran. Son branchement s'effectue par la corne T, assurant un isolement suffisant.

La surface extérieure de la partie à peu près conique est aussi revêtue d'une couche conductrice M reliée normalement à la terre, formant avec la couche intérieure une capacité de 1 000 pF environ.

3 — LA CONCENTRATION DU FAISCEAU EST MAGNÉTIQUE OU ÉLECTROSTATIQUE.

Pour former l'image de la cathode sur l'écran, il faut disposer d'une lentille qui peut être :

a) *Magnétique :* une *bobine* est enfilée sur la partie cylindrique du tube et judicieusement placée. Elle crée un champ parallèle au faisceau électronique. Ou bien *un jeu d'aimants* remplace cette bobine (fig. 10).

b) *Électrostatique :* le canon électronique ressemble à celui des tubes d'oscillographes (1). Des tensions appropriées doivent être appliquées aux diverses électrodes.

4 — LE CENTRAGE DU FAISCEAU S'OPÈRE A L'AIDE DE CHAMPS MAGNÉTIQUES ACCESSOIRES.

Il est nécessaire de pouvoir régler dans de faibles limites (quelques centimètres dans les deux sens) le cadrage de l'image sur l'écran. On y parvient en ajoutant à chaque champ variable de déviation *un petit champ fixe* réglable obtenu :

a) soit avec un courant continu supplémentaire envoyé dans les bobines de déviation ;

b) soit avec un petit aimant placé entre C et B, contre le bloc de déviation B (fig. 11), et dont l'orientation est réglable.

5 — L'ÉCRAN LUMINESCENT.

C'est un dépôt de substance pulvérulente appropriée (sulfure de zinc) contenant des « impuretés » appelées *activateurs*, qui provoquent sa fluorescence sous l'impact des électrons. Un mélange correct

permet d'obtenir une couleur apparemment blanche, mais dans laquelle les diverses teintes du spectre n'ont pas du tout les proportions que l'on trouve dans une lumière vraiment blanche telle que celle du soleil.

6 — CARACTÉRISTIQUE ÉLECTRIQUE.

Le canon étant similaire à un tube électronique, la caractéristique courant anodique-tension de grille (wehnelt) a la même forme que dans une triode ou une pentode.

Or, *la brillance du spot étant proportionnelle à l'intensité du faisceau* la caractéristique brillance-tension de wehnelt est identique à celle du courant (fig. 11).

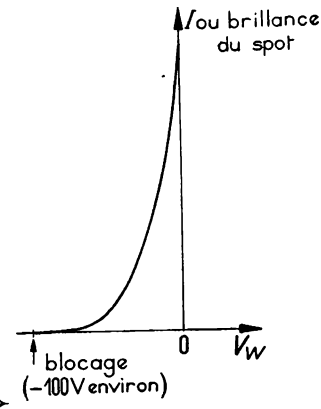


FIG. 11. — *Caractéristique : courant-tension de wehnelt d'un tube cathodique.*

7 — TACHE IONIQUE.

L'expérience montre qu'après un temps de fonctionnement suffisant, le centre de l'écran de télévision est plus sombre que le reste de la surface, comme s'il avait été brûlé.

Ce phénomène est dû aux *ions négatifs* se formant dans le canon.

Les champs X et Y agissent sur toutes les particules. Or la déviation magnétique est donnée par : $x = lD\sqrt{\frac{e}{2m}}\frac{B}{\sqrt{V_a}}$.

Les ions, dont la masse est bien plus grande que celle des électrons, sont moins déviés ; par exemple :

un ion hydrogène, le plus léger, a une masse égale à 1 840 fois celle de l'électron. Il est donc dévié $\sqrt{1\,840} = 43$ fois moins. La déviation est encore bien moindre pour tous les autres ions ; les ions frappent donc l'écran seulement au voisinage du centre et l'empoisonnent (terme utilisé en fluorescence).

8 — PIÈGE A IONS, ÉCRAN ALUMINISÉ.

Deux procédés sont employés pour éviter la tache ionique :

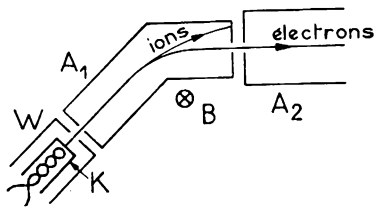


FIG. 12.
Un des types de pièges à ions.

a) Séparer le faisceau ionique des électrons par une déviation magnétique appropriée qui les différencie. C'est le *piège à ions* (fig. 12), constitué d'un canon coudé dans lequel les ions, moins déviés que les électrons par un champ magnétique d'induction B, se perdent dans les électrodes. Ce champ est produit par un petit aimant enfilé sur le col du tube.

b) Protéger l'écran par une métallisation, opaque aux ions mais transparente aux électrons. On recouvre la face interne de la substance fluorescente d'une couche d'aluminium d'environ un micron. Cette couche agit aussi comme un miroir pour la lumière produite, et augmente considérablement la luminosité de l'écran, car elle réfléchit vers l'avant la lumière qui partait vers l'intérieur du tube.

REMARQUE — Les deux procédés (piège et aluminisation) peuvent être employés simultanément.

◇

Exercices

I – 1. Une photographie représente un personnage de 1,7 m de haut, pris à une distance de 5 m. Quel est l'angle de vision correspondant (en degrés)?

Cette photographie est reproduite par un téléviseur pour lequel la personne occupe 40 cm de hauteur. Sous quel angle la voit un spectateur situé à 3 m?

Dans une salle de cinéma, l'écran reproduit le personnage avec une hauteur de 4 m. Le spectateur situé à 20 m est-il mieux placé pour observer les détails que le téléspectateur de la question précédente?

Voyez-vous pourquoi, au cinéma, comme à la télévision, les opérateurs donnent très souvent des « gros plans » (répondre en deux ou trois lignes).

I – 2. Calculer la sensibilité de déviation d'un tube cathodique à déviation électrostatique dans les conditions suivantes (fig. 3) :

$$V_a = 5 \text{ kV} ; \quad l = 5 \text{ cm} ; \quad D = 30 \text{ cm} ; \quad d = 1 \text{ cm}.$$

Montrer, par une considération très simple, qu'il est impossible d'avoir un angle de déviation total de l'ordre de 90°.

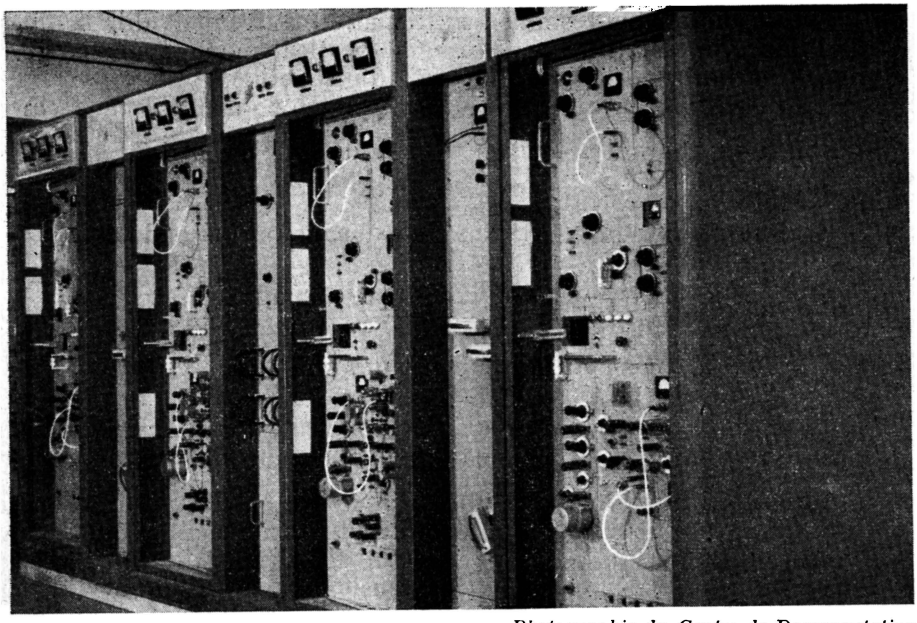
I – 3. Dessiner le trajet du centre du spot dans une analyse entrelacée à 15 lignes. Sur une deuxième figure, dessiner le trajet du spot pendant les retours de trames sachant qu'ils ont chacun la même durée que 4 lignes.

I – 4. On considère un tube cathodique de réception dont l'écran fait 50 × 40 cm. Sachant que l'azote est le 7e élément de la classification périodique, l'oxygène le 8e, et que leurs masses atomiques sont N = 14 et D = 16, alors que pour l'hydrogène H = 1, quelles seraient les dimensions approximatives de la tache ionique, en admettant que les ions proviennent exclusivement d'atomes d'azote et d'oxygène?

I – 5. Pourquoi est-il nécessaire d'analyser une image?

I – 6. Dessiner les électrodes d'un canon à électrons, et le schéma électrique de l'alimentation, avec les réglages indispensables.

<>



Photographie du Centre de Documentation et d'Information de la C. S. F.

Émetteurs TV de 1,25 kW couplés (station belge de Neufchâteau)

II. — TRANSMISSION DES IMAGES

A. — L'émetteur de télévision

1 — LA BANDE PASSANTE NÉCESSAIRE A LA TÉLÉVISION EST TRÈS LARGE.

Le tube analyseur connecte successivement chaque « point d'image » au circuit de transmission, soit en une seconde :

nombre de points par ligne × nombre de lignes par image × nombre d'images par seconde.

Les « points » sont supposés circulaires, autrement dit, la finesse de l'image ou *définition*, est la même verticalement (épaisseur d'une ligne) et horizontalement (largeur d'un point).
Si on a N lignes, on aura N points par ligne pour une image carrée. Les images courantes ont un format de 4/3. On a donc $\frac{4}{3}$N points par ligne.

En résumé, le nombre de détails transmis par seconde est :

$n = \frac{4}{3}$N × N × nombre d'images par seconde.

$n = \frac{4}{3}$N² F_i, où F_i est la fréquence des images.

La tension de sortie du tube analyseur peut, d'un point au suivant, c'est-à-dire en $1/n$ seconde, varier du maximum au minimum.

Admettons que l'image la plus compliquée soit une succession de points alternativement noirs et blancs. Il est évident (fig. 1) que la variation de tension de sortie, proportionnelle à l'éclairement des points, présente une période pour deux points. La fréquence correspondante est donc $\frac{n}{2}$. On doit donc transmettre au plus la fréquence $\frac{n}{2}$ à partir de 0 ; **la bande passante** exigée est donc :

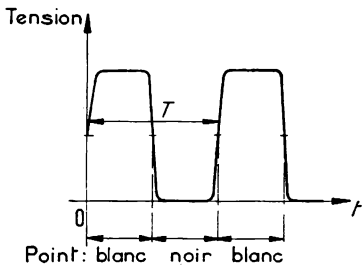


FIG. 1. — *Variation de la tension en fonction du temps, pour une image composée de points alternativement noirs et blancs.*

$$B = \frac{n}{2} = \frac{2}{3}N^2F_i.$$

EXEMPLE : *Télévision française.*

N = 819 ; F_i = 25 Hz ;

$B = \frac{2}{3} \times 819^2 \times 25 = 11.\ 10^6$ Hz, soit 11 MHz (1).

REMARQUE — Dans ce calcul, on a employé N, nombre de lignes par image, et F_i, fréquence des images. Mais on peut aussi utiliser le

(1) Ce calcul ne donne pas un résultat rigoureux, car la « dimension » d'un point est plus compliquée à définir que nous ne l'avons fait ; elle peut même être un peu subjective. Une évaluation plus précise conduit à une bande de 10,5 MHz.

nombre de lignes par trame soit $\frac{N}{2}$, et multiplier par la fréquence des trames, soit 2 F_i. Éviter la confusion entre les mots **trame** et **image.**

2 — LA LARGEUR DE LA BANDE EXIGE UNE FRÉQUENCE PORTEUSE TRÈS ÉLEVÉE.

On sait, en effet, que pour opérer une modulation d'amplitude, et aussi pour pouvoir réaliser les circuits de haute fréquence, à la réception et à l'émission, la fréquence porteuse doit être plusieurs fois plus grande que la fréquence maximum de modulation.

En pratique, les fréquences porteuses s'échelonnent de 50 à 200 MHz. C'est le domaine des *ondes métriques* (6 à 1,5 m).

3 — CONSTITUTION GÉNÉRALE DE L'ÉMETTEUR DE TÉLÉVISION.

La figure 2 représente l'ensemble.

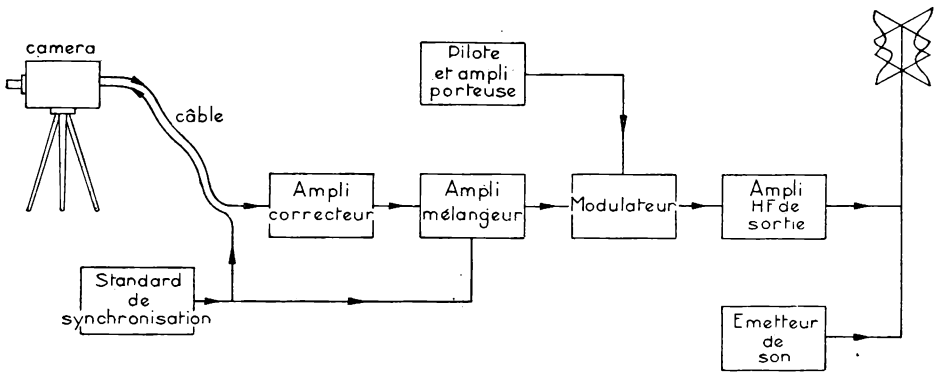


FIG. 2. — *Constitution générale d'un émetteur de télévision.*

Le tube de prise de vues fournit des signaux de lumière, qui sont amplifiés dans la caméra. Celle-ci comprend en outre les dispositifs de balayage du tube analyseur. Elle est munie également d'un viseur, permettant à l'opérateur le cadrage de la vue à transmettre. Ce viseur est en général un petit tube cathodique reproduisant, dans la caméra même, l'image fournie par le tube analyseur.

Les signaux sortant de la caméra sont *amplifiés* et *corrigés*, car certains tubes analyseurs (iconoscope par exemple) fournissent des tensions parasites qu'il est indispensable d'éliminer.

Le générateur ou standard de synchronisation fournit des impulsions de durée et de période très précises. Elles déclenchent les retours de ligne et de trame dans les caméras, et sont ajoutées au signal de lumière, pour être transmises aux récepteurs. On réalise ainsi le synchronisme des balayages de toutes les caméras se trouvant en service simultanément et de tous les récepteurs.

L'émetteur comprend évidemment, en plus, les dispositifs de production et de modulation de la haute fréquence porteuse destinée à l'antenne.

Le son accompagnant l'image est transmis par un émetteur complètement séparé, de conception classique. Seule, l'antenne est commune, et rayonne les deux porteuses image et son, situées par commodité sur des fréquences voisines. Cet émetteur est modulé en amplitude (France, Grande Bretagne) ou en fréquence (U. S. A., standard européen C. C. I. R.).

4 — L'ÉMISSION DE TÉLÉVISION SE FAIT A BANDES LATÉRALES ASYMÉTRIQUES.

On sait qu'une émission modulée en amplitude fournit deux bandes latérales représentant chacune les fréquences de modulation. Chaque bande contient les mêmes renseignements, la même *quantité d'information*. La largeur considérable de la bande exigée en télévision conduit à supprimer (ou presque) l'une des deux bandes latérales. La largeur ainsi occupée dans l'espace de fréquences est presque réduite de moitié.

B. — Propagation des ondes métriques

1 — L'ONDE DIRECTE, DITE « DE SOL », EST SEULE UTILISABLE PRATIQUEMENT.

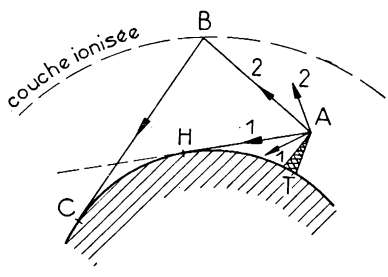


FIG. 3. — *Diverses possibilités de propagation des ondes.*

Les ondes électromagnétiques émises par l'antenne A se propagent dans toutes les directions. Les ondes du type « 1 » (fig. 3) rencontrent la Terre, et sont donc utilisables : ce sont les ondes « de sol ». Les ondes du type « 2 » peuvent se perdre dans l'espace, si leur longueur d'onde ne leur permet pas d'être réfléchies de façon sûre par les couches ionisées de l'atmosphère. Seules, les ondes décamétriques et plus longues sont toujours réfléchies par une couche ionisée, et peuvent

suivre un trajet tel que ABC. Les ondes métriques employées en télévision sont très rarement réfléchies.

L'onde de télévision est donc utilisable jusqu'à l'horizon seulement (*point* H). Puis le rayon se perd dans l'espace.

Il est facile d'évaluer la distance T H par un calcul géométrique.

Toutefois, l'atmosphère courbe légèrement les rayons électromagnétiques, ce qui les rend perceptibles un peu au-delà de l'horizon géométrique. L'horizon radioélectrique d est donné par la formule pratique :

$$d = 4\,100\sqrt{h}$$

où d est l'horizon radioélectrique, en mètres et h la hauteur de l'antenne d'émission, en mètres.

REMARQUE — Dans le cas où l'antenne du récepteur n'est pas au ras du sol, il faut ajouter l'horizon de celle-ci à la distance d pour obtenir la portée possible de l'émission.

2 — IMPORTANCE DES OBSTACLES EN ONDES MÉTRIQUES.

Un récepteur R (fig. 4) placé dans la zone d'ombre Z d'un obstacle O (immeuble, colline, voire montagne) ne peut pas, en principe, recevoir d'onde émise par A. Bien entendu, si on dispose l'antenne du récepteur sur un mat, en M, la réception est de nouveau assurée. Mais un récepteur *sensible*, placé en R, sans antenne de grande hauteur, donne un résultat. Il reçoit l'onde *diffractée* par l'obstacle.

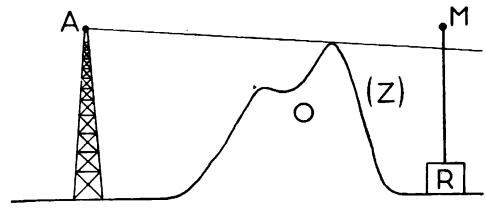


FIG. 4. — *Cas d'un récepteur derrière un obstacle.*

L'onde diffractée par un obstacle a une intensité très faible, et présente des zones où l'intensité est nulle. Il faut donc rechercher la hauteur optimum de l'antenne. Cette propagation n'est pas aléatoire, mais sûre.

3 — PROPAGATIONS EXCEPTIONNELLES.

Il arrive que l'on reçoive des ondes métriques à des distances considérables (milliers de km). Ceci est dû à une réflexion exceptionnelle

des ondes sur une couche ionisée de l'atmosphère. Cette propagation est inutilisable, car imprévisible et éphémère.

4 — L'ONDE ÉLECTROMAGNÉTIQUE D'UN ÉMETTEUR EST POLARISÉE.

Une onde électromagnétique est l'association d'un champ électrique $\vec{E}$ et d'un champ magnétique $\vec{H}$, toujours perpendiculaires entre eux, et formant un plan normal à la direction Oz de propagation(fig. 5). $\vec{E}$ et $\vec{H}$ varient sinusoïdalement en fonction du temps.

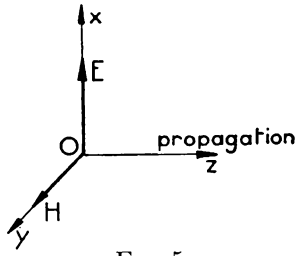


FIG. 5.
Représentation d'une onde électromagnétique.

Lorsque les directions (Ox pour $\vec{E}$ et Oy pour $\vec{H}$) restent fixes au cours du temps, l'onde est dite **polarisée. Le plan de polarisation** est le plan x O z.

Lorsque l'onde n'est pas polarisée (rayon lumineux ordinaire par exemple), ce plan change à chaque instant.

Les ondes émises en télévision sont polarisées *verticalement* ou *horizontalement* ; cela fait partie des caractéristiques particulières des émetteurs. On en tiendra compte lors de l'installation des antennes de réception.

5 — EXEMPLE : CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES ÉMETTEURS FRANÇAIS.

a) **Tableau des fréquences.**

N° du canal		Porteuse image	Porteuse son
Bande I	F 1	43,00MHz	54,15MHz
	F 2	52,40	41,25
	F 3	56,15	67,30
	F 4	65,55	54,40
Bande III	F 5	164,00	175,15
	F 6	173,40	162,25
	F 7	177,15	188,30
	F 8 A	185,25	174,10
	F 8	186,55	175,40
	F 9	190,30	201,45
	F 10	199,70	188,55
	F 11	203,45	214,60
	F 12	212,85	201,70

Les émetteurs sont distribués dans divers canaux, groupés eux-mêmes en bandes. Il peut y avoir plusieurs émetteurs par canal.

b) **Organisation des canaux.**

Chaque canal comprend la fréquence porteuse « son », qui peut être supérieure ou inférieure à la fréquence porteuse de l'image. L'organisation d'un canal est représentée figure 6 : l'émetteur transmet une bande latérale intégralement, de 10,4 MHz, et la deuxième, tronquée, de 1,75 MHz. L'une contient donc toutes les fréquences de modulation, alors que l'autre contient seulement les fréquences relativement basses de zéro à environ 2 MHz, lesquelles sont ainsi émises avec une *puissance relativement double* de celles comprises entre 2 et 10 MHz.

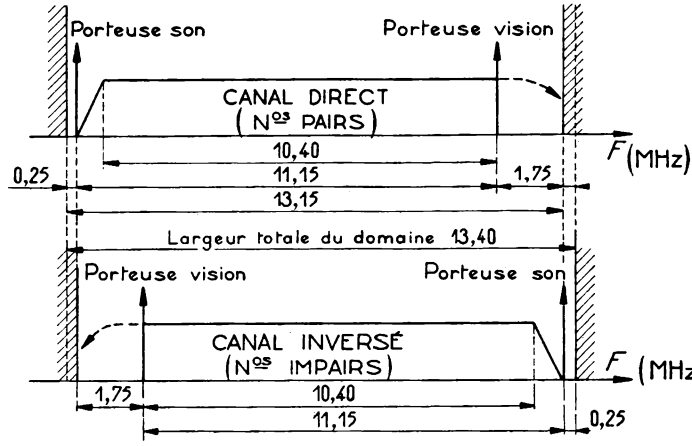


FIG. 6. — *Détail des canaux d'émission. Chaque émetteur transmet une bande latérale de* 10,4 MHz *et l'autre bande tronquée, de* 1,75 MHz. *L'écart entre les porteuses son et vision est toujours de* 11,15 MHz.

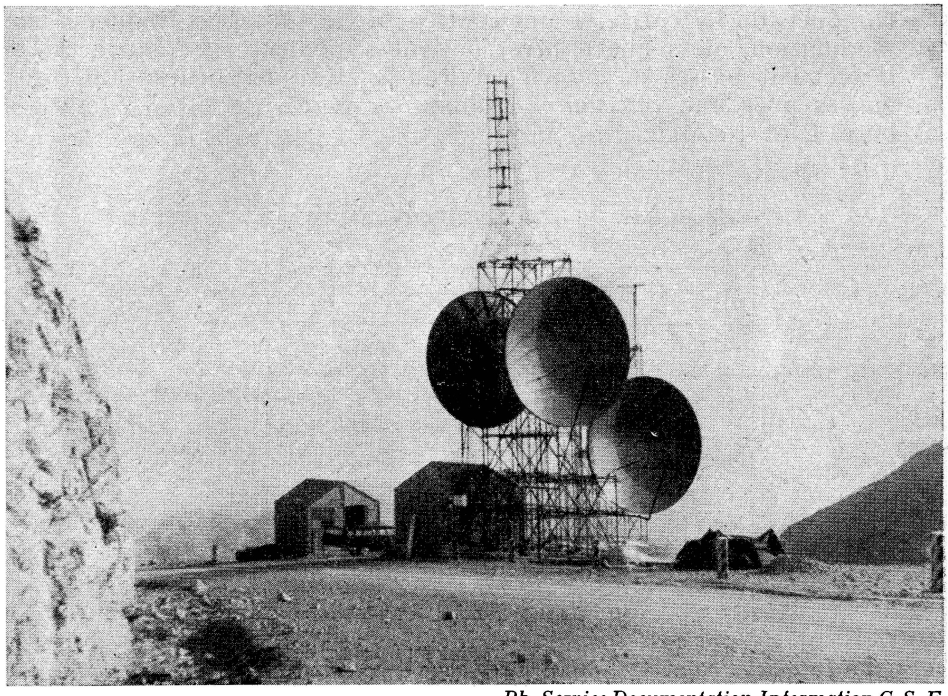
6 — FAISCEAUX HERTZIENS.

Les émetteurs sont répartis géographiquement de manière à atteindre chacun un nombre maximum de téléspectateurs. Par contre, la production des spectacles télévisés est en général centralisée, le même programme étant diffusé par un grand nombre d'émetteurs.

Pour acheminer le signal de vidéofréquence depuis le studio de prise de vues jusqu'aux émetteurs, on utilise soit des câbles, soit des

ondes porteuses. Ce dernier système s'est développé énormément, à cause de ses hautes performances.

Le signal vidéo est transmis d'un point à un autre par ondes décimétriques. Pour assurer une propagation sûre et économiser sur la puissance des émetteurs employés, ces ondes sont focalisées par des miroirs paraboliques de quelques mètres de diamètre.



Ph. Service Documentation Information C. S. F.

Liaison Télévision Continent-Algérie : vue de la station de Puig-Mayor (alt. 1350 m)

On peut ainsi acheminer le signal « vidéo » :

— du studio vers l'émetteur habituel ;

— d'un point extérieur au studio vers l'émetteur, ce point pouvant même être une station mobile (reportages) ;

— du studio vers tous les émetteurs du réseau devant diffuser le même programme.

Dans la plupart des pays, un véritable réseau de « câbles hertziens » est actuellement en service, assurant aussi les communications téléphoniques et la distribution des programmes de radiodiffusion sonore.

EXEMPLE DE LIAISON HERTZIENNE :

A chaque extrémité, une station terminale comprend un émetteur modulé par la vidéofréquence. La porteuse est située dans la bande des 4 000 MHz. La station est aussi équipée d'un récepteur, lorsque le faisceau est utilisé dans l'autre sens. Cette station est bâtie en général en forme de tour, au sommet de laquelle se trouvent le miroir émetteur et le miroir récepteur. Ces tours sont situées sur des points hauts.

Quand la distance à couvrir excède par trop l'horizon, on est conduit à intercaler des tours-relais. Ces stations intermédiaires ne contiennent que des amplificateurs et changeurs de fréquence travaillant sur la porteuse, sans démoduler.

Le programme français de télévision circule ainsi dans tout le pays, et même jusqu'en Algérie.

6 — RÉÉMETTEURS.

Lorsqu'une ville ou une agglomération est située dans l'ombre d'un obstacle (fig. 4), on installe un récepteur au sommet de l'obstacle, ou tout au moins en un point où l'émetteur est reçu convenablement. Le signal obtenu est changé de fréquence pour éviter des interférences, puis réémis en direction de la zone d'ombre.

Ces appareils se réalisent actuellement sous forme de boitiers de petites dimensions (voir photographie au chapitre VII). Dans les zones montagneuses leur nombre croit rapidement, mais leur très faible puissance ne fait pas craindre les interférences, car ils ne couvrent que la zone intéressée. D'ailleurs, ils n'emploient que des tubes classiques de réception.

C. — Le récepteur de télévision
Généralités

1 — LE RÉCEPTEUR DE TÉLÉVISION EST UN SUPERHÉTÉRODYNE POUR ONDES MÉTRIQUES.

La gamme des ondes métriques est, on l'a vu, imposée par la largeur de bande de la transmission.

Le superhétérodyne permet, grâce à la translation de fréquence qui en est la base, d'amplifier correctement les signaux dans un domaine de fréquences où le matériel courant fonctionne avec des performances satisfaisantes, ce qui n'est pas le cas aux environs de 200 MHz.

L'agencement du récepteur sera donc celui de la figure 7. Bien entendu, on doit ajouter à cet ensemble :

— les générateurs de balayage du faisceau cathodique ;

— le récepteur de son, de conception classique. Par raison d'économie ses circuits sont en partie communs avec ceux du récepteur d'image.

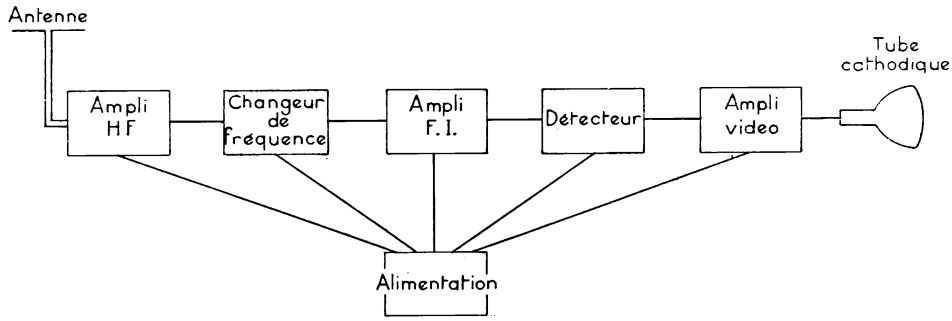


FIG. 7. — *Le récepteur de signaux « vidéo ».*
On doit y ajouter les dispositifs de balayage du tube cathodique, et le récepteur de son.

2 — LE RÉCEPTEUR DE TÉLÉVISION EST A LARGE BANDE.

Il faut que ce récepteur puisse amplifier la totalité des fréquences transmises par l'émetteur ; cette bande est en France de l'ordre de 10 MHz.

La largeur de la bande entraîne un bruit de fond important. En effet, la tension efficace de bruit développée aux bornes d'un circuit est donnée par la formule de NYQUIST :

$$E_b = \sqrt{4kTR\Delta f}$$

avec k : constante de BOLTZMANN, soit 1,38. 10^{-23} joule par degré ;
T : température absolue ;
R : résistance du circuit (pour les fréquences considérées) ;
Δf : bande passante.

EXEMPLE NUMÉRIQUE : La bande nécessaire à la radiophonie est de 10 kHz environ, soit 1 000 fois plus faible qu'en télévision. Le bruit de fond est donc $\sqrt{\frac{10^7}{10^4}}$, soit environ 30 fois plus grand en télévision qu'en radio. Cela entraîne des répercussions très importantes, en particulier sur la conception des amplificateurs d'entrée des récepteurs.

3 — LA CARACTÉRISTIQUE AMPLIFICATION-FRÉQUENCE DOIT AVOIR UNE FORME SPÉCIALE.

On a vu que l'émetteur transmettait avec une intensité relative double les fréquences basses de modulation comprises entre 0 et 2 MHz. La « courbe de réponse » de l'émetteur a donc l'aspect de la figure 8 *a*. Si l'on veut qu'après réception, il n'y ait pas excès de fréquences basses de modulation, on est conduit à réaliser un récepteur dont la courbe de réponse est celle de la figure 8 *b*.

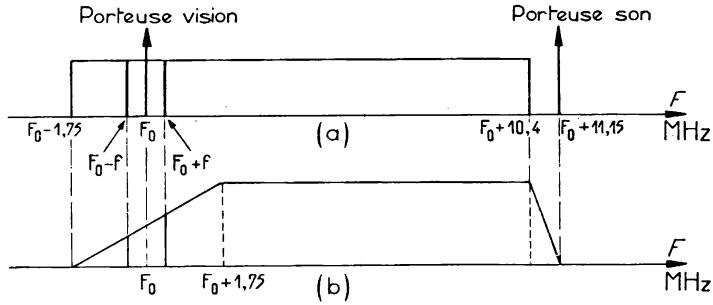


FIG. 8. — (a) *Courbe de transmission en amplitude (stylisée) de l'émetteur.* (b) *Courbe de réponse en amplitude (ou amplification) du récepteur.*

Sur cette figure, on remarque qu'une fréquence f de modulation donnant, une fois incorporée à une porteuse F_0, les fréquences $F_0 + f$ et $F_0 - f$, est reçue en partie dans la bande latérale inférieure, fortement atténuée par le récepteur, et en partie dans la bande latérale

supérieure, beaucoup moins atténuée. Au total, cette fréquence f est obtenue à la sortie du récepteur avec la même intensité que les fréquences f supérieures à 2 MHz qui sont transmises et reçues sans atténuation particulière.

4 — LA CARACTÉRISTIQUE DE PHASE DOIT ÊTRE LINÉAIRE.

Cette caractéristique est d'une importance capitale en télévision, et plus généralement dans la transmission des signaux de forme complexe. Le signal de lumière relatif à un point déterminé doit parvenir au récepteur au moment où le faisceau cathodique de celui-ci est situé sur le point correspondant de l'image reconstituée.

Or, la transmission n'est pas instantanée. Tous les signaux sont décalés en retard. Il suffit, pour que l'image existe, et soit simplement décalée dans le temps, que **le délai de transmission soit le même pour tous les signaux.**

En considérant l'ensemble des fréquences possibles de modulation, on est conduit à admettre que chacune d'elles doit être retardée du même temps Δt. Le déphasage $\Delta\varphi$ correspondant à un temps Δt pour un signal de fréquence f, c'est-à-dire de période $T = \frac{1}{f}$ est :

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{\Delta t}{T} = 2\pi f\Delta t = \omega\Delta t.$$

On peut donc dire aussi que **le déphasage doit être proportionnel à la fréquence considérée.** Les figures 9 *a* et 9 *b* expriment graphiquement la même propriété.

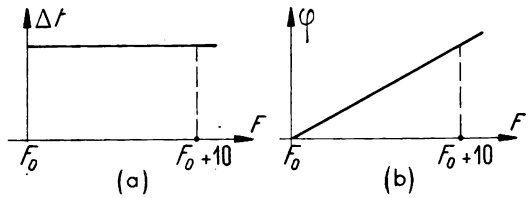


FIG. 9. — (a) *Le délai de transmission doit être constant.*
(b) *Le déphasage doit être proportionnel à la fréquence.*

La figure 10 illustre ce que devient un signal complexe lorsque le déphasage des diverses composantes est modifié. On voit en (*a*) un signal S, somme d'un fondamental H_1 et d'un harmonique trois H_3. Le dessin (*b*) montre le même signal S' à la sortie d'un dispositif qui aurait modifié la phase relative des deux composants. Il est très différent du signal S.

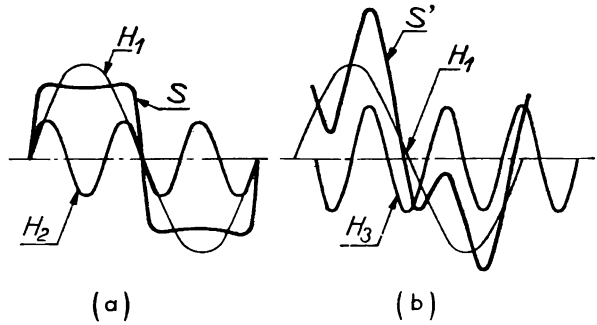


FIG. 10. — *Déformation d'un signal par déphasage des composants.*

REMARQUES — ***1. La caractéristique de délai ou de phase et la caractéristique d'amplitude de la forme déterminée au paragraphe 3 doivent être obtenues simultanément.***

2. La caractéristique de délai ou de phase concerne tout l'appareillage compris entre le tube de prise de vues et le tube cathodique de réception.

3. Le déphasage doit être très faible aux très basses fréquences, condition souvent difficile à réaliser dans les amplificateurs.

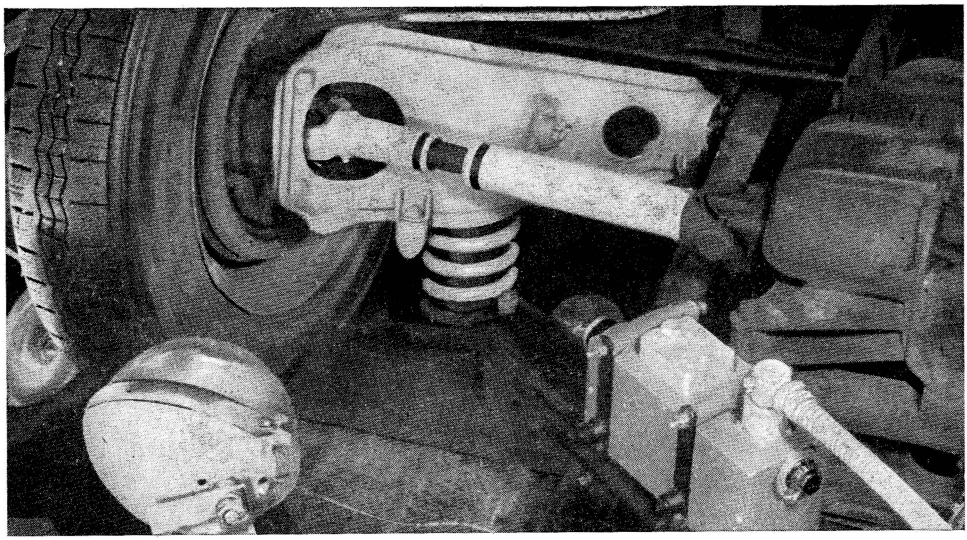
D. — Télévision industrielle

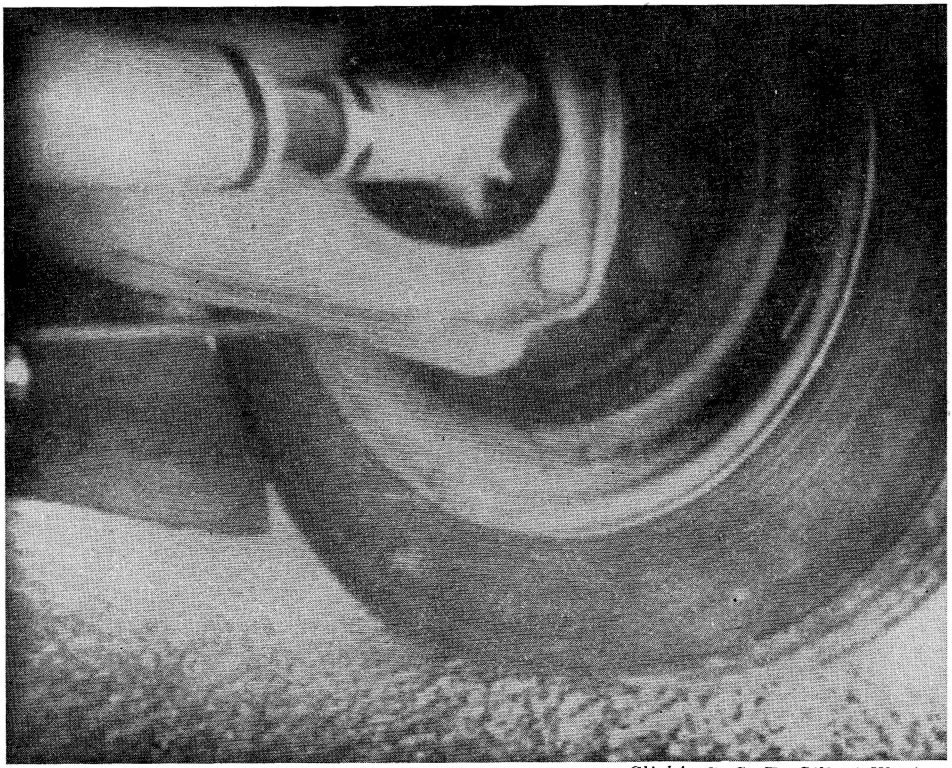
1 — LA TRANSMISSION DES IMAGES PEUT SE FAIRE PAR FIL.

C'est un lieu commun de considérer actuellement un câble, ou une ligne, ou bien une onde porteuse, comme une voie de transmission, en quelque sorte un support aux signaux que l'on veut transmettre à distance.

La télévision présente un intérêt incontestable pour le spectacle ou l'actualité, qu'elle permet de diffuser en une multitude de lieux.

Par contre, les applications industrielles réclament en général la transmission à faible distance, le plus souvent à quelques dizaines ou centaines de mètres. Dans ces conditions, on peut remplacer l'onde porteuse par un câble véhiculant exactement les mêmes courants de modulation.





Clichés C. S. F. Gilbert Warin.

En haut, la caméra est braquée sur la suspension d'une voiture,
En bas, l'image obtenue sur un récepteur situé dans un poste fixe.

2 — LA TÉLÉVISION INDUSTRIELLE EST EN GÉNÉRAL UNE TÉLÉVISION SIMPLIFIÉE.

Sauf dans des cas très particuliers, la qualité exigée des images n'est pas aussi grande qu'en télévision artistique. On se contente d'une analyse à nombre de lignes moyen (500).

L'émetteur comprend la caméra, les amplificateurs et le générateur de signaux de temps (standard de synchronisation simplifié).

Le récepteur contient uniquement la portion « vidéofréquences » du récepteur ordinaire et bien entendu les circuits de balayage.

3 — CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES DU MATÉRIEL.

La caméra est équipée d'un tube analyseur vidicon, à cause de ses faibles dimensions et de sa sensibilité. Ce tube donne une bonne image avec un éclairement de 50 lux, ce qui correspond à une sensibilité photographique de 50 ASA.

La caméra est munie d'un ou plusieurs objectifs (objectifs standard de cinéma 16 mm). Elle est réunie au coffret de commande par un câble pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres.

Certaines caméras peuvent donner des images en couleurs. Elles sont munies d'un disque tournant transmettant successivement une image verte, une image bleue et une image rouge. On emploie aussi des caméras contenant trois tubes analyseurs.

Le coffret de commande contient le standard de synchronisation et des amplificateurs, ainsi que l'alimentation de la caméra. Il est muni de toutes les commandes nécessaires, y compris la télécommande de l'orientation de la caméra sur son pied et la mise au point optique des objectifs.

Le récepteur (il peut y en avoir plusieurs) ressemble à un téléviseur domestique, mais il est de conception plus robuste (matériel professionnel) car il risque de travailler en permanence et même dans des conditions climatiques assez dures.

4 — APPLICATIONS.

Nous citerons quatre grands domaines d'application :

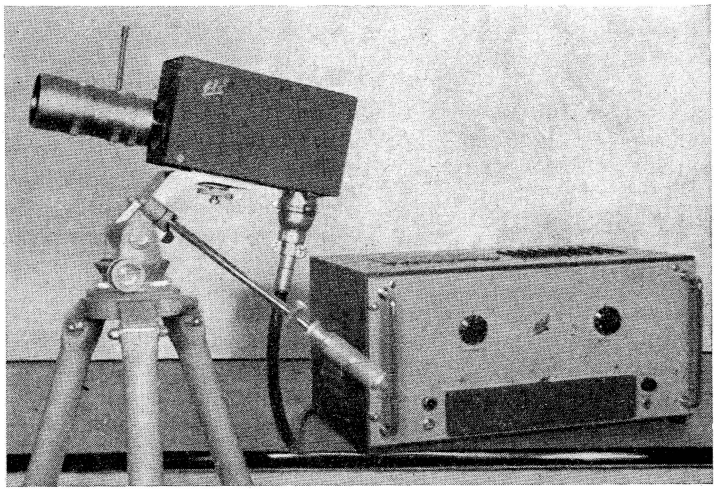
a) *Contrôles de sécurité* visant à augmenter le rendement en diminuant les déchets ou les pertes de temps, ou bien cherchant à éviter incidents et accidents : surveillance de fours, de laminoirs, chargement des hauts-fourneaux, contrôle de la circulation routière et ferroviaire, surveillance contre le vol des étalages aux grands magasins...

b) *Observations dangereuses* : flammes (poudreries, chaudières), réactions nucléaires (très développé), présence de gaz toxiques...

c) *Lieux inaccessibles à l'œil humain* : observations sous-marines ou souterraines, observations de l'intérieur du corps humain...

d) *Diffusion de documents* : transmission des signatures dans les banques, lecture à distance d'appareils de mesure et centralisation de ces lectures...

Cette liste déjà longue n'est pas limitative.



Exercices

II – 1. Calculer la bande passante exigée par une télévision à 441 lignes et 25 images par seconde (ancien standard français). Même question pour 525 lignes et 30 images par seconde (standard américain) et 625 lignes, 25 images par seconde (standard européen C. C. I. R.). On considérera dans tous les cas une image de format 4 /3.

II – 2. Pourquoi est-il nécessaire, en télévision, de faire les transmissions en ondes métriques?

II – 3. Jusqu'à quelle distance pourra-t-on recevoir un émetteur d'ondes métriques dont l'antenne est à 2 889 mètres d'altitude, à l'aide d'un récepteur dont l'antenne, totalement dégagée, est à 10 m de haut?

II – 4. L'entrée d'un récepteur se compose d'un circuit oscillant d'impédance à la résonance égale de 3 kΩ et d'un tube dont la résistance équivalente de bruit est de 1 kΩ. Calculer la tension efficace de bruit sur la grille de ce tube, pour une bande de 10 MHz. On prendra la température égale à 300°K.

II – 5. Dessiner sur papier millimètre une sinusoïde de 5 cm d'amplitude, et son harmonique deux de 2 cm d'amplitude, de manière que les deux courbes passent par zéro au temps zéro. Dessiner la courbe somme des ordonnées des deux précédentes.

Refaire les trois courbes dans le cas où, au temps zéro, la sinusoïde passe par zéro alors que l'harmonique deux est déphasé en retard de 90°.

◇

III. — LE SIGNAL DE TÉLÉVISION, OU « VIDÉO-FRÉQUENCE »

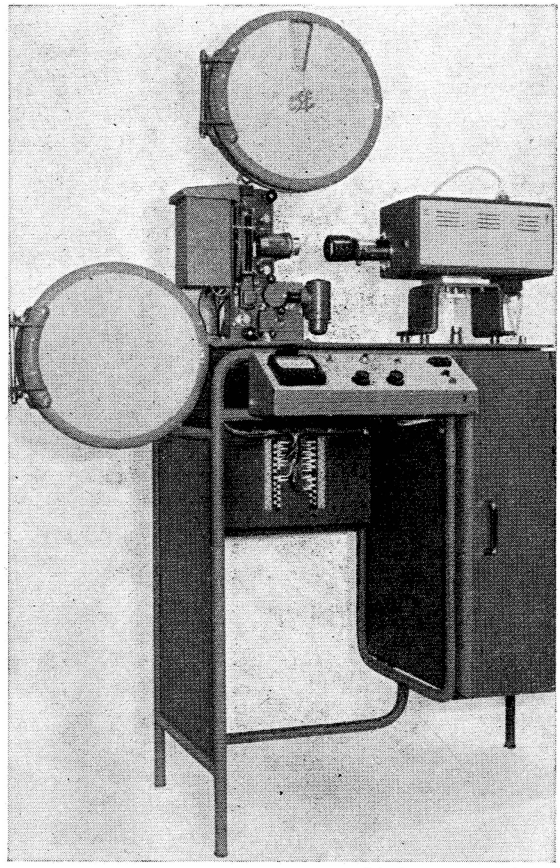


Photo Compagnie Générale de T. S. F.

Télécinéma 16 mm.

A. — Forme des signaux de lumière

1 — LE SIGNAL DE LUMIÈRE OSCILLE ENTRE DEUX NIVEAUX.

L'exploration des points de l'image donne une tension de sortie variant de zéro, pour un point non éclairé (point noir), à un certain maximum pour un point éclairé au maximum (point blanc). On distingue ainsi le **niveau du noir** et le **niveau du blanc** (fig. 1). La loi de variation entre les deux n'a, dans le cas d'une image quelconque, aucun caractère particulier : *pas de symétrie, pas de périodicité.*

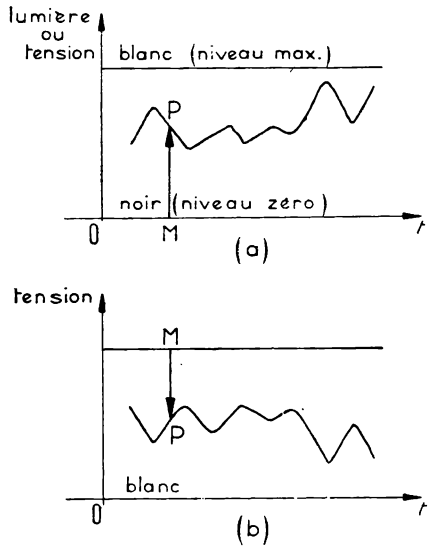


FIG. 1. — a) *Vidéofréquence positive : la tension maximale représente le blanc ;* b) *Vidéofréquence négative : la tension maximale représente le noir.*

2 — LA VIDÉOFRÉQUENCE PEUT ÊTRE POSITIVE OU NÉGATIVE.

La figure 1*a* représente une courbe dont l'ordonnée (M P a un instant quelconque) est constamment *supérieure au niveau du noir.* C'est une vidéofréquence **positive.**

La figure 1*b* représente une vidéofréquence **négative.** MP est proportionnelle à la luminosité du point considéré, mais la tension du signal est représentée par l'ordonnée de la courbe par rapport aux axes de la figure. Ainsi, à un point noir correspond une tension maximale, à un point blanc correspond une tension nulle.

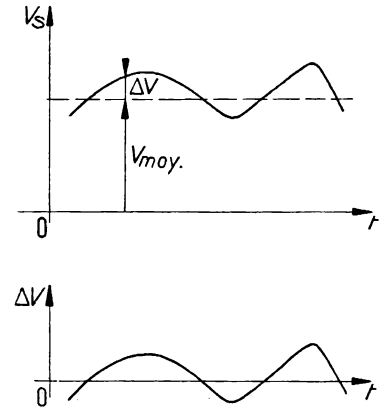


FIG. 2. — *Valeur instantanée, valeur moyenne et variation.*

REMARQUE — 1. Le signal peut se rencontrer avec, comme niveau du noir, une tension différente de zéro, par exemple la tension d'anode de repos d'un tube amplificateur.

2. La vidéofréquence positive peut être transformée en vidéofréquence négative (ou inversement) par le passage dans un tube amplificateur, qui inverse comme on le sait les signaux.

3 — COMPOSANTE CONTINUE DU SIGNAL DE LUMIÈRE.

Comparons les signaux d'une caméra de télévision à ceux d'un microphone. Ces derniers proviennent de la variation, autour d'une position moyenne, de la membrane du microphone, produisant ainsi des tensions variant autour de zéro, tantôt positives, tantôt négatives.

Au contraire, la caméra de télévision fournit des tensions de sens déterminé car, sous l'action de la lumière, la mosaïque ne peut que perdre des électrons. Ces tensions sont par conséquent toujours situées du même côté du niveau zéro (niveau du noir).

On peut définir une **tension moyenne**, ou **composante continue**, comme la moyenne arithmétique des tensions concernant par exemple tous les points d'une même ligne, ou d'une même image ($V_{moy.}$ sur la fig. 2)

A un instant t, on a :

$$V_s = V \text{ moyenne} + \Delta V$$

$$\text{signal} = \text{composante continue} + \text{composante variable de moyenne nulle}$$

Les amplificateurs classiques ne transmettent que ΔV.

REMARQUE — La tension moyenne représente la *luminosité moyenne* de l'image (ou portion d'image) considérée. C'est pourquoi on l'appelle souvent *teinte moyenne.*

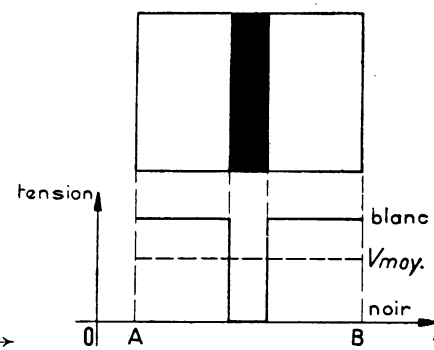


FIG. 3. — *Exemple de signal et sa valeur moyenne.* ——→

4 — A LA RÉCEPTION, IL EST NÉCESSAIRE DE DISPOSER DE LA COMPOSANTE CONTINUE DE LA VIDÉOFRÉQUENCE.

La composante variable donne les contrastes, mais pour que ceux-ci soit fidèlement rendus, la composante continue n'en est pas moins nécessaire.

Considérons, pour simplifier, une image comportant une *bande verticale noire sur fond blanc* (fig. 3). Le signal d'exploration d'une ligne quelconque A B est en forme de créneau (fig. 4). Si, à la reproduction, la valeur moyenne est devenue $V'_{moy} < V_{moy}$, le signal devient celui de la figure 4 et se rapproche du noir : on verra une bande verticale noire *sur fond gris*.

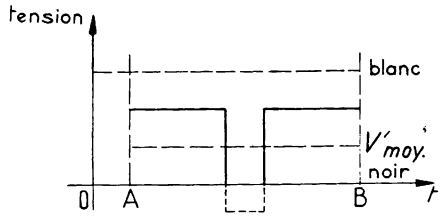


FIG. 4. — *Le signal de la figure 3 ← après modification de la moyenne.*

B. — Signaux de synchronisation Signal complet de vidéofréquence

1 — LES SIGNAUX DE SYNCHRONISATION SONT ADDITIONNÉS AU SIGNAL DE LUMIÈRE.

Ce sont, en réalité, des *interruptions brusques* du signal de lumière pendant lesquelles on perd évidemment un certain nombre de points d'image ; ce nombre est de l'ordre de 25 %, donc assez considérable.

Pour que ces interruptions soient toujours possibles, même lorsque la caméra transmet du noir, c'est-à-dire un signal de lumière nul, on s'arrange à l'émission pour que le niveau du noir corresponde à une tension non nulle, fixée à 25 ou 30 % de la tension maximale possible (niveau du blanc).

La fixation des niveaux est un des problèmes essentiels à résoudre à l'émission.

2 — SIGNAL DE SYNCHRONISATION DE LIGNE FRANÇAIS.

Le signal de synchronisation est la coupure brusque B C (fig. 5). L'interruption dure 2,5 microsecondes (CD). Ce signal est encadré de

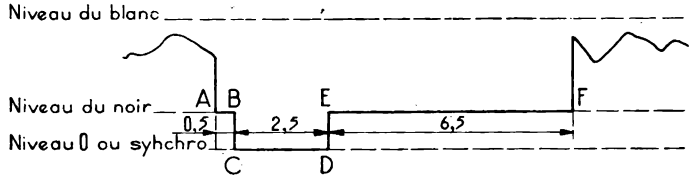


FIG. 5. — *Signal de synchronisation de ligne français (durées exprimées en microsecondes).*

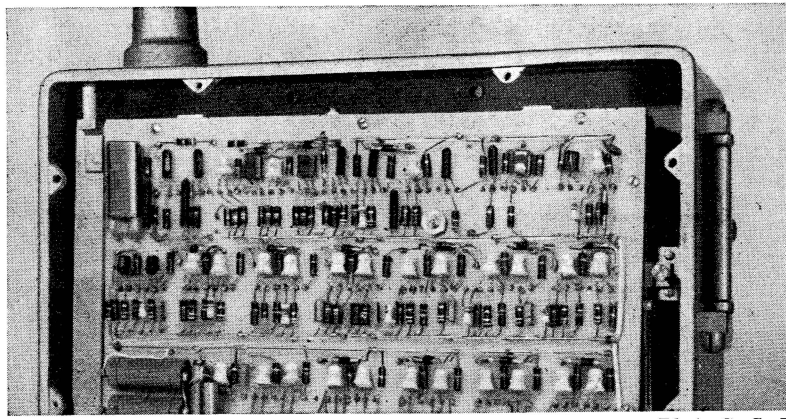
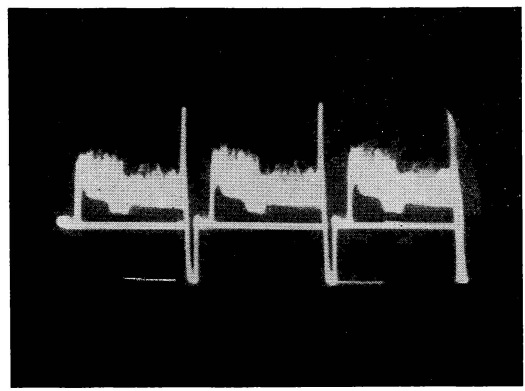


Photo C. S. F.

Générateur de signaux de synchronisation « transistorisé » pour caméra portative.



Cliché de l'auteur

Oscillogramme du signal « vidéo » français. Le balayage a une durée de trois lignes. Le trait blanc horizontal situé vers le tiers de la hauteur représente le niveau du noir. Les deux impulsions très nettes, négatives, au-dessous de ce niveau, sont les « tops » de ligne. Les paliers d'effacement de 5 µs les suivent immédiatement. Les deux traits horizontaux peu lumineux situés au niveau inférieur sont les deux signaux de synchronisation des trames : on voit nettement que celui de droite débute en même temps que le « top » de la 3e ligne, et que celui de gauche débute au milieu de la 1re ligne de la figure. Les « tops » de trame sont peu lumineux car leur récurrence est 819 fois plus faible que celle des « tops » de ligne.

deux paliers noirs « de sécurité » (AB et EF). Le signal BC marque la fin de ligne et doit provoquer le retour vers la gauche des faisceaux cathodiques d'exploration et de reproduction. Le palier EF laisse au spot le temps de revenir à gauche avant que le signal de lumière ne reprenne, de sorte que le retour n'est pas visible sur l'écran.

3 — SIGNAL DE SYNCHRONISATION DE TRAME FRANÇAIS.

La trame paire et la trame impaire se distinguent par un décalage d'une demi-ligne. Ce sont les signaux de synchronisation qui assurent ce décalage, donc l'entrelacé.

Comme le signal de ligne, celui de trame est une coupure brusque, mais qui dure 20 µs (fig. 6). Il est inséré dans un palier noir de 2 millisecondes, donnant au spot le temps de revenir en haut de l'écran avant la reprise du signal de lumière.

Remarquer sur la figure 6 la différence de position des signaux des trames paire et impaire.

Cette figure représente en définitive le signal complet de vidéofréquence.

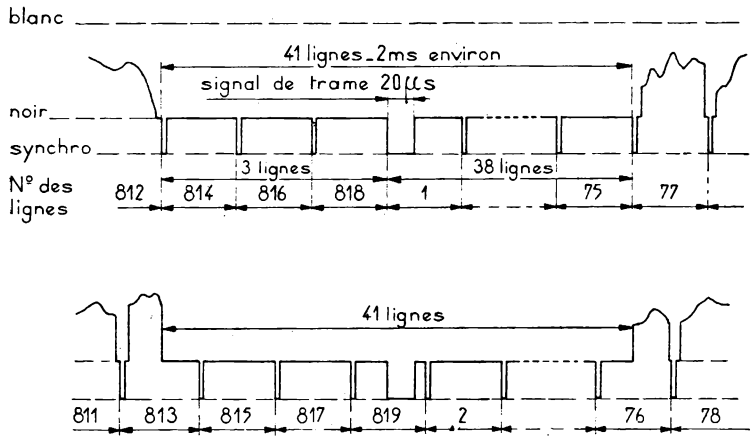


FIG. 6. — *En haut: signal du début de la trame impaire; En bas: signal du début de la trame paire.*

4 — LA TÉLÉVISION FRANÇAISE EST A MODULATION POSITIVE.

Le signal complet module en amplitude une onde porteuse.

En outre, le niveau zéro pour le signal, correspond à une profondeur

Cliché C. S F. René Bouillot.

Équipement portatif

de modulation nulle, le blanc correspondant à une puissance d'émission maximum. La puissance émise varie donc comme le signal. C'est la *modulation positive* (fig. 7).

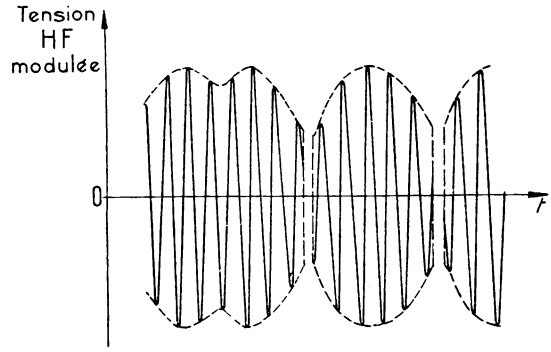


FIG. 7. — *Modulation positive d'une porteuse de télévision.*

5 — TÉLÉVISION EUROPÉENNE A 625 LIGNES.

Le système européen C. C. I. R. opère en modulation *négative.* c'est-à-dire que la puissance émise varie en sens inverse du signal, Ainsi, le niveau zéro ou de synchronisation correspond à la puissance maximale et le niveau du blanc à une puissance nulle. La forme du signal vidéo est donnée figure 8.

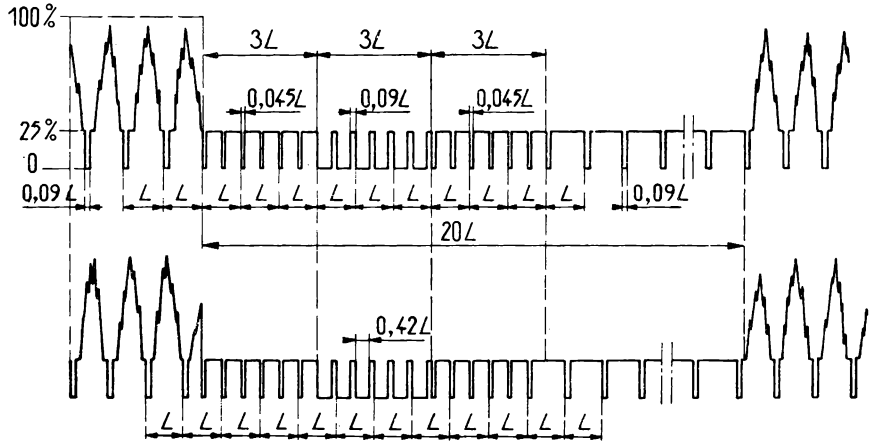


FIG. 8. — *Forme des signaux « vidéo » du standard européen à 625 lignes (L = durée d'une ligne).*

Exercices

III – 1. Dessiner le signal de « vidéo » complet pour deux lignes successives d'une image représentant :

a) une surface complètement blanche ;

b) une surface complètement noire ;

c) une bande verticale blanche sur fond gris foncé ;

d) un trait fin, vertical, blanc sur fond noir ;

e) un dégradé blanc à gauche et devenant de plus en plus foncé jusqu'à atteindre le noir sur le bord droit de l'image.

Pour tous ces signaux, on fera le tracé sur papier millimétrique et on tracera la valeur moyenne en pointillé (mesurée à l'aide de l'aire des courbes).

III – 2. Une image représente un damier à quatre grands carrés (deux blancs, deux noirs). Elle est balayée en sept lignes (trois lignes et demie par trame). Dessiner l'allure de signal vidéo complet correspondant à l'analyse d'une image, y compris les signaux de synchronisation de ligne et de trame, en s'inspirant du standard français.

◇

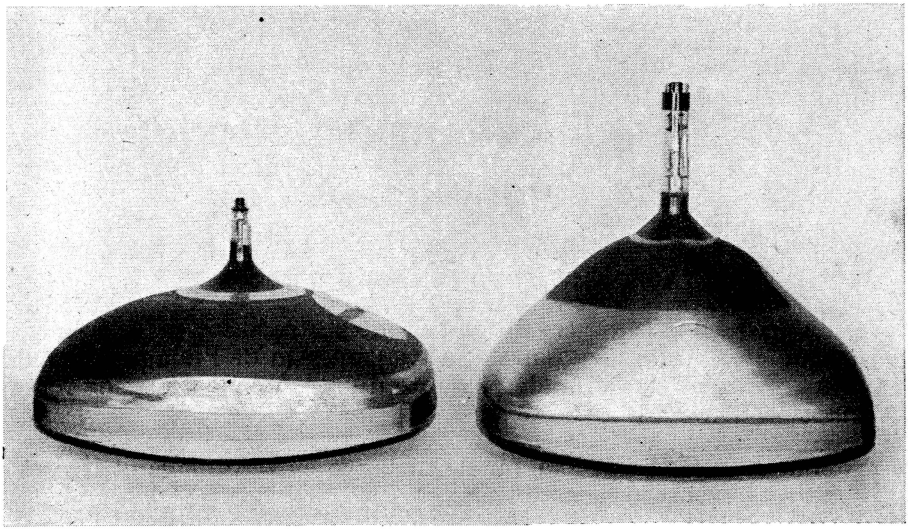


Photo S. A. Philips.

Tubes de réception de 90° (à droite) et de 110° (à gaucbe).

IV. — RÉCEPTION ET SÉPARATION DES SIGNAUX

Après avoir étudié dans les chapitres précédents la forme des signaux et les performances à obtenir des appareillages, nous allons maintenant décrire l'organisation d'un récepteur, et les méthodes permettant de trier les trois types d'informations véhiculées par l'onde porteuse : le signal de lumière, les signaux de synchronisation et le son.

Dans ce qui suit, on supposera connues les propriétés essentielles des amplificateurs à large bande et en très hautes fréquences, ainsi que leurs schémas de montage. On se reportera éventuellement au fascicule II.

A. Amplification et détection des signaux modulés

1 — LES PREMIERS ÉTAGES AMPLIFIENT L'IMAGE ET LE SON.

La fréquence porteuse du son étant située juste à l'extrémité de la bande passante nécessaire à la transmission de l'image, une extension très légère de la bande passante du récepteur permet de recevoir aussi le son.

Mais il ne doit pas y avoir de mélange entre l'image et le son. Or chaque porteuse est modulée.

Si l'intensité des signaux amplifiés est trop grande, on observe de la transmodulation, due à ce que l'un des tubes amplificateurs travaille dans des régions non linéaires. Il y a une véritable modulation de l'image par le son. Il est impossible de les séparer dans la suite du montage. L'amplification du son et de l'image peut se faire dans des étages communs, au nombre de deux ou trois, à condition que l'amplitude reste faible.

REMARQUES. — 1. On peut toujours diminuer l'intensité des signaux avec des atténuateurs.

2. Ces considérations sont à réviser dans le système de réception du son modulé en fréquence, appelé « interporteuses », dont il est question au chapitre « réception du son ».

2 — L'ÉTAGE D'ENTRÉE DOIT PASSER UNE LARGE BANDE ET PROCURER UN FAIBLE SOUFFLE. C'EST EN GÉNÉRAL UN *CASCODE*.

La bande occupée par un canal est de l'ordre de 13 MHz. C'est cette bande, comprenant toutes les fréquences rayonnées par l'émetteur, y compris la porteuse du son, que le premier étage doit amplifier.

Cet étage est monté à l'aide de circuits accordés dans la bande voulue, suivant le principe des circuits à accords décalés ou des circuits couplés. Il est fréquent (fig. 1) de rencontrer par exemple trois circuits.

Le montage représenté est un ***cascode***. Il est constitué d'un tube T monté normalement (cathode à la masse), mais chargé dans l'anode par l'entrée du tube T' monté *grille à la masse*. **La grille de ce dernier tube joue le rôle d'écran** entre la sortie et l'entrée du montage, ce qui permet d'employer des triodes, donc des *tubes à faible souffle*, sans être gêné par la capacité anode-grille.

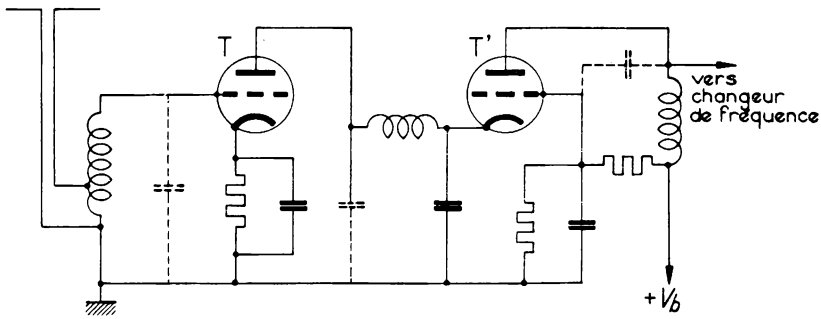


FIG. 1. — *Schéma de principe d'un cascode.*

3 — LE CHANGEMENT DE FRÉQUENCE FACILITE L'EXTRACTION DU SON.

A l'entrée du récepteur, les signaux sont en général assez faibles (1 mV). Sans craindre la transmodulation, il est toujours possible d'amplifier son et image en commun dans le premier étage du récepteur et aussi d'opérer la translation de fréquence, ce qui ramène les porteuses son et image des environs de 200 MHz aux environs de 30 à 40 MHz.

Dans ce domaine de fréquences, la réalisation de circuits oscillants de qualité correcte est possible.

EXEMPLE : Recevons un émetteur dont la porteuse image est de 200 MHz et la porteuse son de 188,85 MHz. Supposons que l'oscillation locale ait une fréquence de 230 MHz. Après translation, la porteuse image devient :

$$230 - 200 = 30 \text{ MHz},$$

et la porteuse son :

$$230 - 188{,}85 = 41{,}15 \text{ MHz}.$$

L'écart de 11,15 MHz entre les deux porteuses s'est évidemment retrouvé en fréquence intermédiaire.

Le son est prélevé en insérant un circuit accordé (ici sur 41,15 MHz) **soit dans l'anode du tube convertisseur, soit dans l'anode du premier**

amplificateur à fréquence intermédiaire. Ce circuit sert, par contrecoup, de *piège.* Il absorbe fortement la porteuse son et l'empêche ainsi de se diriger vers la partie « image » du récepteur.

4 — LE CHANGEMENT DE FRÉQUENCE FACILITE LA RÉCEPTION DES « CANAUX INVERSÉS ».

Nous avons vu dans les caractéristiques des émetteurs, que les fréquences porteuses son et image ont une disposition inversée lorsque l'on compare deux canaux adjacents.

A priori, il paraît donc indispensable d'avoir deux types de récepteurs, dans lesquels, par exemple, les circuits amplifiant le son sont accordés respectivement soit sur la fréquence supérieure de 11,15 MHz (en France) à celle de l'image, soit sur la fréquence inférieure de 11,15 MHz à celle de l'image.

Un seul type de récepteur convient si l'on choisit judicieusement la fréquence de l'oscillateur local.

Appelons f_i la fréquence intermédiaire de l'image et f_s la fréquence intermédiaire du son. Leurs valeurs, relativement arbitraires, sont déterminées par le constructeur du récepteur.

Recevons l'émetteur dont la porteuse son a une fréquence F_s supérieure à celle de la porteuse image F_i. Si F_o est la fréquence de l'oscillateur local, on a bien entendu :

$$f_i = F_i - F_o,$$
$$f_s = F_s - F_o.$$

Ceci suppose que F_o est inférieure à F_i, donc à F_s. On obtient :

$$f_i < f_s.$$

Considérons maintenant l'autre type de canal, dans lequel $F_s < F_i$. Choisissons F_o supérieure à F_i, donc à F_s. On a alors :

$$f_i = F_o - F_i$$
$$f_s = F_o - F_s.$$

Comme F_s est inférieure à F_i, on retrouve $f_s > f_i$. Dans l'amplificateur à fréquence intermédiaire, on a retrouvé la disposition du canal précédent.

Le changement de fréquence réalise une inversion de l'axe des fréquences lorsque la fréquence locale est supérieure aux fréquences reçues (fig. 2).

REMARQUE — *Il est indispensable de tenir compte de cette propriété dans l'utilisation des vobulateurs et des générateurs interférentiels.*

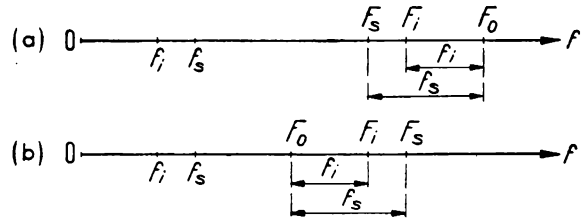


FIG. 2. — *Résultat de la translation de fréquence dans un récepteur:* (a) : *canal direct,* (b) : *canal inversé.*

EXEMPLE NUMÉRIQUE : Un récepteur possède une fréquence intermédiaire fixée à 27,5 MHz pour l'image. La fréquence intermédiaire du son est, par suite, de :

$$27{,}5 + 11{,}15 = 38{,}65 \text{ MHz},$$

puisque le changement de fréquence conserve les différences de fréquence.

a) *On désire recevoir le canal* 5 : Porteuse image : 164 MHz
Porteuse son : 175,15 MHz

L'oscillateur local devra être accordé sur :

$$164 - 27{,}5 = 175{,}15 - 38{,}65 = 136{,}5 \text{ MHz}.$$

b) *On désire recevoir le canal* 10 : Porteuse image : 199,70 MHz
Porteuse son : 188,55 MHz

L'oscillateur local devra être accordé sur :

$$199{,}70 + 27{,}5 = 188{,}55 + 38{,}65 = 227{,}2 \text{ MHz}.$$

5 — LE CHANGEUR DE FRÉQUENCE EST DU TYPE « ADDITIF ».

Les montages employés en ondes moyennes ne sont pas utilisables parce que leur impédance d'entrée est trop faible ou que leur souffle est trop grand, ou bien encore que leur pente de conversion est insuffisante. N'oublions pas en effet que les larges bandes nécessitent l'emploi des circuits oscillants très amortis, de faible impédance à la résonance ; l'amplification n'est donc raisonnable qu'avec des tubes à forte pente.

Le schéma couramment employé en télévision est représenté figure 3. Un oscillateur à triode fait travailler le tube mélangeur triode ou pentode dans des conditions non linéaires, car l'amplitude de l'oscillation locale est capable de le saturer. Le signal de très haute fréquence entre ainsi en battement avec l'oscillation locale. Un circuit oscillant, accordé judicieusement, trie la fréquence différence. C'est le premier circuit de l'amplificateur à fréquence intermédiaire.

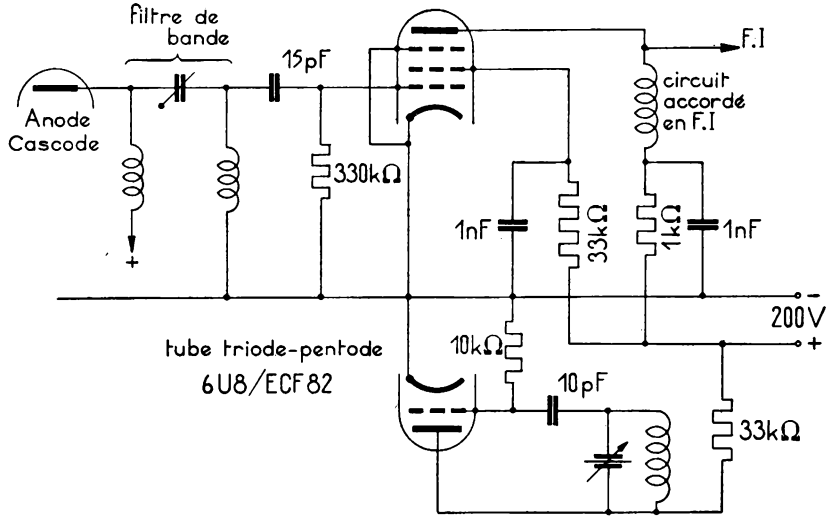


FIG. 3. — *Schéma complet d'un changeur de fréquence en ondes métriques. La bobine de l'oscillateur est couplée magnétiquement à celles du filtre de bande.*

6 — L'AMPLIFICATEUR A FRÉQUENCE INTERMÉDIAIRE DÉTERMINE LA COURBE DE RÉPONSE ET LA SENSIBILITÉ DU RÉCEPTEUR.

Il est délicat de réaliser, vers 200 MHz, des circuits d'une certaine précision. Le changement de fréquence a pour but essentiel de ramener la fréquence dans une gamme où la réalisation satisfaisante des circuits couplés ou décalés est possible. La réponse en amplitude doit avoir la forme donnée figure 4. La réponse en phase doit être linéaire. Or ces deux conditions sont in-

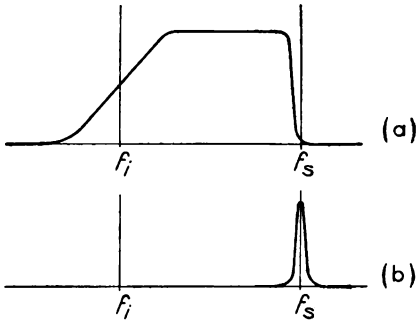


FIG. 4. — *Courbes d'amplification :*
(a) : *Fréquence intermédiaire d'image ;*
(b) : *Fréquence intermédiaire du son.*

compatibles dans les circuits courants (1) et nous avons vu que l'existence d'une bande latérale tronquée complique le problème.

Le compromis le meilleur semble être le suivant :

a) bande la plus large possible pour obtenir un faible temps de montée ;

b) pente suffisamment faible de la courbe de réponse en amplitude au voisinage de la porteuse image (fig. 4 *a*).

La courbe paraissant souhaitable, compte tenu de l'absence d'angles vifs dans les courbes réelles des circuits, est celle de la figure 5. Il est possible d'obtenir cette courbe avec un ensemble de **circuits couplés** et de **circuits oscillants simples.**

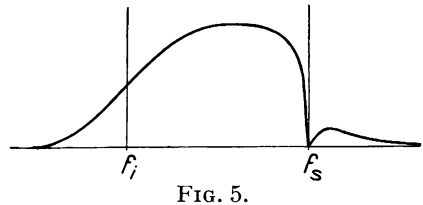


FIG. 5.
Courbe de réponse recommandée.

On rencontre ainsi couramment des amplificateurs à circuits à ***accords décalés*** (fig. 6) et des montages à ***circuits surcouplés*** (fig. 7).

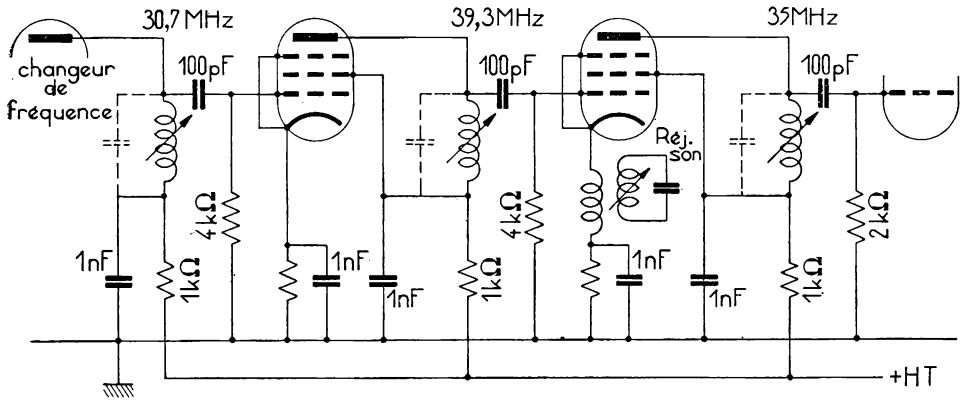


FIG. 6. — *Schéma de principe d'un amplificateur F. I. à circuits décalés.*

Dans les premiers, la large bande est obtenue en échelonnant le long de la bande à transmettre les fréquences d'accord des circuits judicieusement amortis (ces fréquences sont données à titre d'exemple sur la figure). Avec les circuits couplés, on obtient une large bande en couplant et en amortissant suffisamment les circuits. Ce

(1) Voir fascicule II : Réponse transitoire.

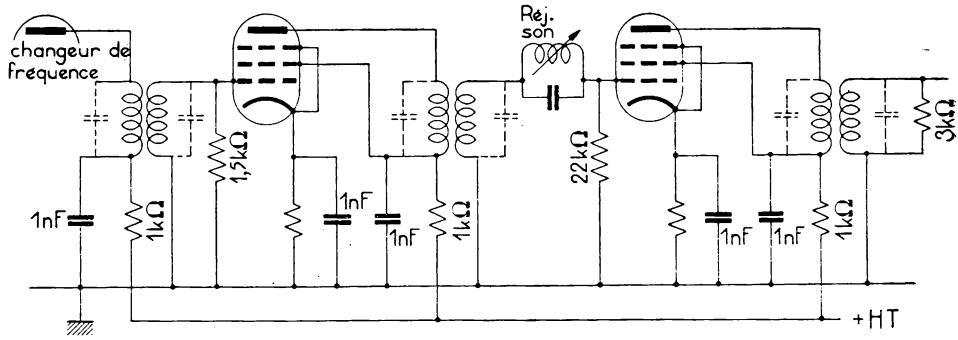


FIG. 7. — *Schéma de principe d'amplificateur F. I. à circuits couplés.*

dernier montage donne un gain plus grand pour un même nombre de tubes. La figure 8 montre un schéma d'amplificateur à fréquence intermédiaire comportant une association des deux types de circuits.

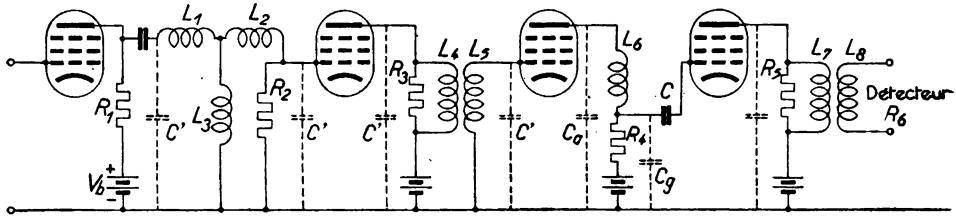


FIG. 8.— *Amplificateur F. I. mixte.— C : condensateurs d'isolement : C', C_a, C_g : capacités parasites ; L_1, L_2 : circuits couplés par L_3 et amortis par R_1 et R_2 ; L_4, L_5 : circuits couplés magnétiquement et amortis par R_3 ; L_6 : circuit résonnant série avec les capacités C_aC_g, amorti par R_4 ; L_7, L_8 : circuits couplés magnétiquement, amortis par R_5 et le détecteur R_6.*

La descente abrupte du côté de la porteuse son nécessite l'usage de circuits pièges sélectifs, appelés ***réjecteurs de son.*** *Ils éviteront la transmodulation son-image.*

Enfin, l'amplificateur à fréquence intermédiaire détermine la sensibilité de l'appareil, car c'est lui qui fournit la plus grande part de l'amplification.

7 — LE DÉTECTEUR DOIT LAISSER PASSER UNE LARGE BANDE « VIDÉO ».

Son schéma est tout à fait classique (fig. 9). *En télévision, son comportement est déterminé par les capacités parasites.*

Il s'agit d'un détecteur de crêtes chargeant une capacité de détection. Celle-ci se réduit ici à la capacité parasite C_p du fil reliant le détecteur au tube amplificateur « vidéo », augmentée de la capacité d'entrée de ce dernier.

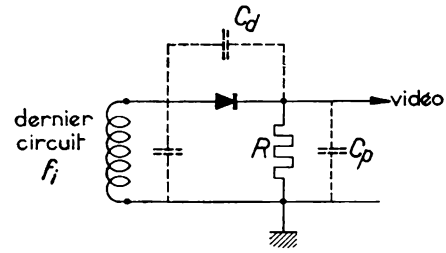


FIG. 9.
Détecteur en vidéofréquence.

Pour que le rendement soit bon (obtention de la crête de la tension haute fréquence modulée en amplitude), la constante de temps RC_p doit être très supérieure à la période de la tension redressée.

Pour que le circuit suive les variations rapides d'amplitude, la constante de temps doit être, au contraire, très inférieure à la période la plus courte de la modulation.

EXEMPLE : *a*) *Cas de la radiophonie ;*
Fréquence intermédiaire : environ 500 kHz, période : 2 μs.

Fréquence maximum de modulation : 10 à 15 kHz, période : 70 à 100 μs.

En prenant RC_p de l'ordre de 10 à 20 μs, le résultat est atteint sans difficulté.

b) *Cas de la télévision ;*

Fréquence intermédiaire : environ 30 MHz, période : 0,33 μs.

Fréquence maximum de modulation : 10 MHz, période : 0,1 μs.

Le rapport entre les deux est de 3. Il est donc impossible de satisfaire les deux conditions.

L'obtention de la bande passante suffisante, autrement dit du temps de montée le meilleur, prime le rendement du détecteur.

L'extrémité de la bande passante d'un circuit RC_p, tel que celui de la figure 9 est donnée par la relation que l'on établit dans l'étude des amplificateurs :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC_p}.$$

D'où $$RC_p = \frac{1}{2\pi f_c}.$$

Si $f_c = 10\text{MHz}$, $$RC_p = \frac{1}{2\pi 10^7} = 1{,}6 \cdot 10^{-8} s.$$

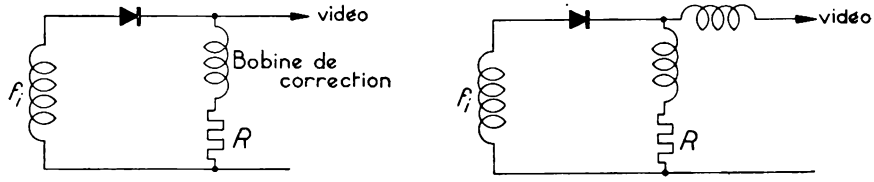
C_p peut être estimée au minimum à 10 pF, ce qui donne :

$$R = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-8}}{10^{-11}} = 1\,600\,\Omega.$$

Une si faible valeur de la résistance de charge exige *une diode de très faible résistance interne.* Cette condition, jointe au choix d'une capacité parasite minimum, explique l'emploi de diodes à *semi-conducteurs.*

8 — LE CIRCUIT DE DÉTECTION PEUT ÊTRE CORRIGÉ EN « VIDÉO » A L'AIDE DE BOBINES EN SÉRIE OU EN PARALLÈLE.

Comme dans les amplificateurs « vidéo », on peut compenser partiellement l'action des capacités parasites avec des *bobines de correction* (fig. 10).



Correction parallèle. FIG. 10. *Correction mixte.*

On peut ainsi gagner sur la valeur de la résistance de charge, pour un même temps de montée. Mais on sera souvent conduit à tolérer une certaine suroscillation.

9 — LE DÉTECTEUR FOURNIT LA COMPOSANTE CONTINUE.

La figure 11 représente l'onde modulée, constituée par une sinusoïde d'amplitude variable dont l'enveloppe est le signal « vidéo ».

Après détection, il ne reste pratiquement que l'enveloppe, positive ou négative suivant le sens de branchement de la diode. Il est mani-

feste que les fonds des impulsions de synchronisation *sont bien alignés sur le niveau zéro.* **On a retrouvé le signal avec sa composante continue.**

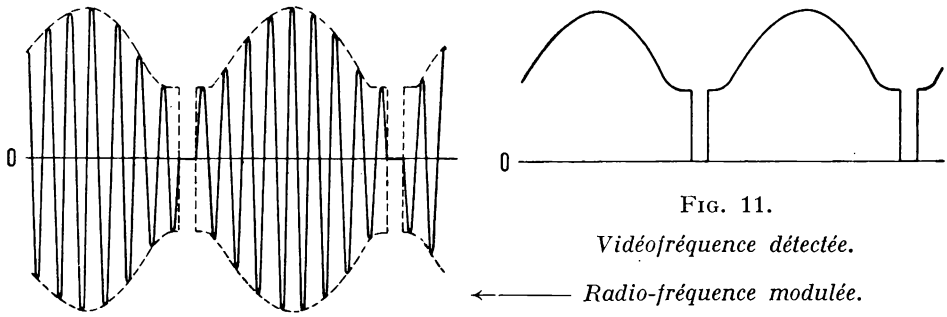


FIG. 11.

Vidéofréquence détectée.

Radio-fréquence modulée. ←———

La liaison directe sans condensateur avec un seul tube amplificateur « vidéo » permet de conserver la composante continue jusqu'au tube cathodique. Mais lorsque l'on doit, pour accroître la sensibilité, employer deux étages d'amplification, on est conduit à les relier par un condensateur de liaison, qui fait disparaître la composante continue. On la retrouve alors à l'aide d'une diode d'alignement (1).

B. — Amplification en vidéofréquence Tube cathodique et ses circuits Contraste et luminosité

1 — IL EST NÉCESSAIRE D'AMPLIFIER EN VIDÉOFRÉQUENCE.

Le détecteur fournit des tensions de modulation de quelques volts crête à crête tout au plus. Or le tube cathodique exige, pour être modulé à fond, des tensions voisines de la valeur de sa tension de blocage, c'est-à-dire plusieurs dizaines de volts.

REMARQUE — On pourrait, en principe, amplifier davantage en fréquence intermédiaire, mais il est préférable de partager l'amplification entre la très haute fréquence, la fréquence intermédiaire et la vidéofréquence. Cela diminue les réactions parasites des étages les uns sur les autres.

(1) Voir fascicule II : Restitution de la composante continue.

2 — L'AMPLIFICATEUR « VIDÉO » EST MUNI DE BOBINES DE CORRECTION.

Pour obtenir un temps de montée suffisamment faible (ou une bande assez large), il est nécessaire de réduire les capacités parasites au minimum.

Cela étant obtenu, on peut encore en compenser partiellement l'effet à l'aide de bobines (fig. 12) situées en parallèle ou en série sur la liaison avec la suite du montage.

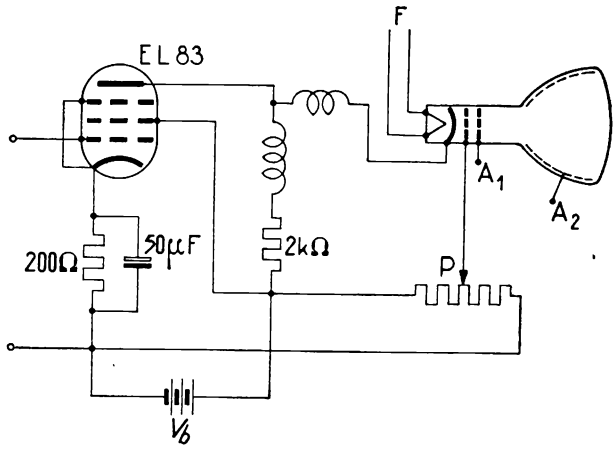


FIG. 12. — *Amplificateur « vidéo » classique.*

3 — LA CATHODE DU TUBE EST RELIÉE DIRECTEMENT A L'ANODE DU TUBE « VIDÉO ».

Comme le montre la figure 12, une liaison continue transmet les signaux à la cathode du tube cathodique. Cette liaison comprend souvent une bobine de correction série.

Cette cathode est ainsi portée à un potentiel de l'ordre de 200 V environ par rapport à la masse du montage. Ceci conduit à chauffer le filament F à l'aide d'un enroulement spécial du transformateur d'alimentation, lorsque l'isolement filament-cathode dans le tube est insuffisant. Les anodes A_1 et A_2 sont portées à des potentiels convenables (300 à 500 V pour A_1, 14 à 18 kV pour A_2).

4 — LE POTENTIOMÈTRE DE « LUMINOSITÉ » SERT A POLARISER LE TUBE CATHODIQUE A LA TENSION DE BLOCAGE.

Lorsque le récepteur ne reçoit rien, l'écran doit être obscur. Or l'anode du tube « vidéo » est alors à son potentiel maximum $V_{a\,max}$ (voisin de V_b). On doit polariser le wehnelt du tube cathodique *au blocage*. Le potentiel du wehnelt par rapport à la masse doit être de $V_{a\,max} - V_{go}$, V_{go} étant la tension de blocage. Cette valeur est située entre $+ V_b$ et zéro ; elle s'obtient facilement à l'aide du potentiomètre P, appelé couramment ***réglage de luminosité.***

En réalité, le potentiomètre dit « de luminosité » règle le seuil d'apparition de la lumière sur l'écran. On peut dire qu'il fixe le niveau du noir au tube cathodique.

5 — LE CONTRASTE EST LE RAPPORT DES LUMINOSITÉS ENTRE LES PARTIES CLAIRES ET FONCÉES DE L'IMAGE.

Il est donc d'autant plus intense que l'amplitude de signaux de lumière est plus grande. Cette amplitude doit pouvoir être réglée à volonté. Il faut introduire un atténuateur dans le récepteur, pour faire varier l'amplification.

Le potentiomètre de contraste agit sur l'amplification à fréquence intermédiaire.

Il modifie la polarisation d'un ou plusieurs tubes à « pente variable ».

Il serait en effet impossible de le monter comme dans un amplificateur pour basses fréquences, car les capacités parasites conduiraient à des valeurs de résistance anormalement faibles (voir les atténuateurs à large bande pour oscillographes par exemple).

6 — LES RÉGLAGES DE CONTRASTE ET LUMINOSITÉ NE SONT PAS, EN GÉNÉRAL, INDÉPENDANTS.

Nous avons vu que le potentiomètre de luminosité place le tube cathodique au blocage. Les signaux de vidéofréquence produisent donc de la lumière à partir de ce niveau. Le blocage du tube doit correspondre au niveau du noir des signaux **de lumière** (fig. 13). Il en résulte que les impulsions de synchronisation doivent être situées au-delà du blocage.

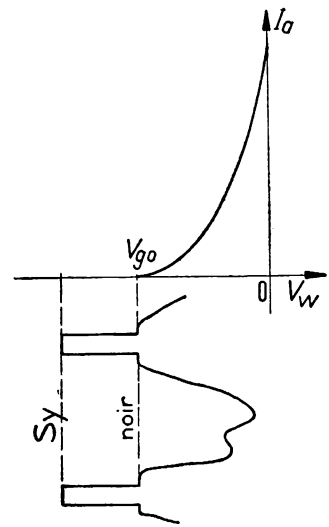


FIG. 13. — *Mode de fonctionnement du tube cathodique.*

Or, le système conservant ou rétablissant la composante continue aligne toujours le fond des impulsions de synchronisation sur le niveau fixe. Le niveau Sy est donc fixe. Si l'on fait varier l'amplification, c'est-à-dire le contraste, les impulsions de synchronisation voient leur amplitude varier. Le niveau Sy étant fixe, c'est le niveau du noir qui change de place. *On doit le rattraper en modifiant la polarisation du tube cathodique* (*potentiomètre de « luminosité »*).

REMARQUE — Certains montages réalisent l'alignement automatique de signaux de lumière sur le niveau du noir. Dans ce cas, les réglages de « luminosité » et de contraste sont indépendants. Alors, le réglage de « luminosité » ne paraît plus indispensable, si l'on a polarisé le tube cathodique correctement à la mise au point.

C. — Réception du son

1 — RÉCEPTION DU SON MODULÉ EN AMPLITUDE.

Un circuit oscillant, accordé sur la fréquence f_s choisie et couplé au circuit d'anode du tube convertisseur, fait apparaître entre ses bornes une tension qui est ensuite amplifiée par un montage très classique (schéma simplifié fig. 14) comprenant un ou deux étages.

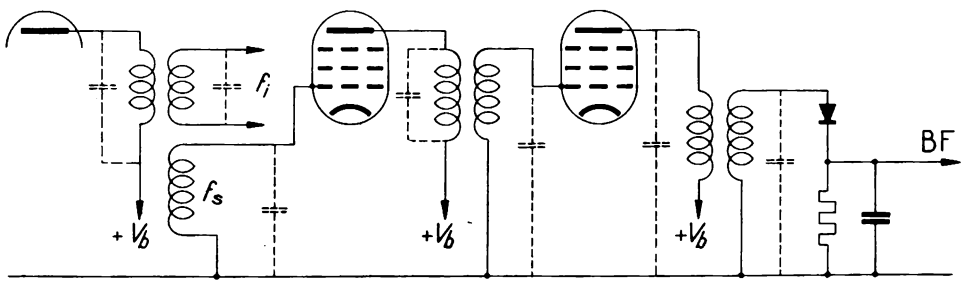


FIG. 14. — *Schéma simplifié du récepteur de son en modulation d'amplitude.*

Le détecteur est suivi d'un amplificateur de basses fréquences, qui peut être de bonne qualité. En effet, la bande passante de l'amplificateur de la figure 14 peut facilement être de l'ordre de 30 kHz (deux fois la fréquence maximum de modulation, c'est-à-dire deux fois 15 kHz, limite audible).

Mais, à cause de l'instabilité de l'oscillateur du changement de fréquence, il est indispensable que cette bande soit beaucoup plus

large (300 kHz). Sinon, le moindre glissement de l'oscillateur fait perdre la réception du son.

REMARQUE — Il n'est pas toujours nécessaire d'amortir les circuits, car ils le sont déjà par la résistance d'entrée des tubes (quelques dizaines de kiloohms aux environs de 30 MHz).

2 — RÉCEPTION DU SON MODULÉ EN FRÉQUENCE (standards européen C. C. I. R. et américain).

La porteuse son est prélevée de la même manière que ci-dessus, par un circuit oscillant situé en général dans l'anode du premier tube à fréquence intermédiaire. L'amplificateur à fréquence intermédiaire du son comprend un tube amplificateur, un tube limiteur et un discriminateur fournissant les basses fréquences (fig. 15).

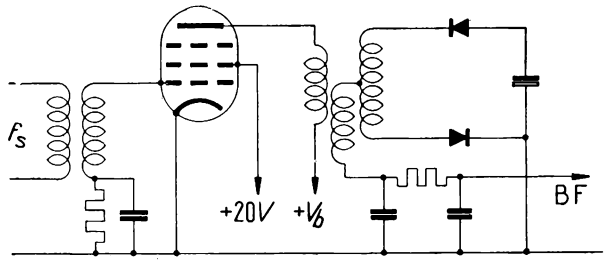


FIG. 15. — *Limiteur et détecteur du son modulé en fréquence.*

La bande passante doit tenir compte ici de la déviation maximum de fréquence de l'émetteur son reçu.

3 — SYSTÈME « INTERPORTEUSES » [1].

Prenons comme exemple le standard européen C. C. I. R., dans lequel l'écart des porteuses image et son est de 5,5 MHz. Les deux porteuses sont amplifiées par tout le récepteur, de l'antenne au dernier tube « vidéo ». *La détection des signaux d'image traite la porteuse son comme une fréquence élevée de vidéo.* Par suite, on trouve à la sortie de l'amplificateur « vidéo » :

— toutes les fréquences de modulation du signal de vidéofréquence comprises entre zéro et environ 5 MHz;

— la fréquence 5,5 MHz modulée en fréquence par le son.

---

[1] Traduction du terme anglo-saxon « intercarrier ».

Un circuit oscillant accordé sur 5,5 MHz prélève cette fréquence dans l'anode du tube « vidéo », ou même quelquefois aussitôt après le détecteur.

Cette fréquence est située à l'extrémité de la bande passante « vidéo » du récepteur. Elle est relativement atténuée. Mais cette atténuation est recherchée pour éviter la transmodulation avec l'image.

Le signal obtenu aux bornes du filtre accordé sur 5,5 MHz est donc faible. On dispose alors un ou deux tubes amplificateurs, souvent écrêteurs en même temps pour éliminer toute modulation d'amplitude. Puis un discriminateur à déphasage, identique (à la fréquence d'accord près) à ceux employés pour la radiophonie à modulation de fréquence, fournit les basses fréquences musicales.

D. — Séparation des signaux de synchronisation

Les signaux de synchronisation sont destinés à déclencher des balayages du tube cathodique. Il est nécessaire de les extraire du signal « vidéo » complet, pour éviter les perturbations qu'apporteraient les signaux de lumière constamment variables.

Par contre, les signaux de synchronisation, dont le niveau est inférieur au noir (fig, 13) ne donneront aucune lumière sur l'écran si on les laisse parvenir au tube cathodique.

Leur hauteur étant constante, *on les sépare par écrêtage.*

1 — LA « VIDÉO » SORTANT DES RÉCEPTEURS EST TOUJOURS NÉGATIVE.

Diverses considérations de sécurité de fonctionnement, et surtout la simplicité du dispositif d'extraction des impulsions de synchronisation dans ce cas, ont conduit à généraliser l'attaque du tube cathodique par la cathode à l'aide d'une « vidéo » dite négative.

Le tube cathodique est donc monté « grille à la masse », la grille étant en l'occurrence le wehnelt.

2 — L'ÉCRÊTAGE DES IMPULSIONS EXIGE L'ALIGNEMENT DES SIGNAUX.

Considérons le signal complet (fig. 16) qui est obtenu sur l'anode du tube « vidéo ». Les niveaux indiqués sur figure donnent un ordre de grandeur.

Ces signaux vont attaquer à travers un condensateur d'isolement, la grille d'un tube écrêteur. Dès lors, la composante continue est éliminée. *Il faut la restituer si l'on veut pouvoir écrêter convenablement*, par exemple si l'on veut conserver tous les signaux situés au-dessus du niveau E E'. Dans le schéma figure 17, représentant la liaison, la diode de restitution doit être branchée de telle manière que les impulsions de synchronisation la rendent conductrice. Le tube T, attaqué par des signaux constamment négatifs, n'est pas polarisé.

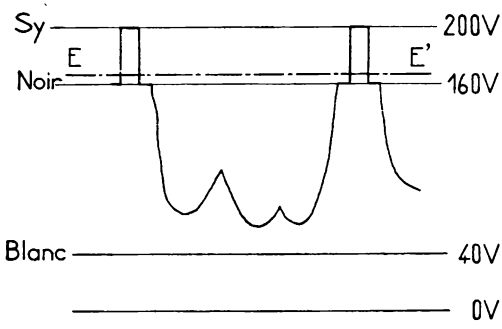


FIG. 16. — *Tension d'anode du tube « vidéo » en fonction du temps.*

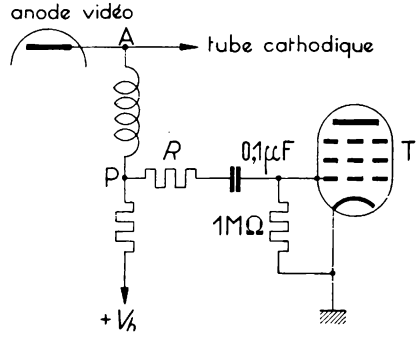


FIG. 17. — *Liaison vidéo-séparateur.*

La diode est alors inutile, l'espace grille-cathode du tube T *jouant le même rôle.* Les signaux se présentent sur la caractéristique I_a, V_g du tube comme l'indique la figure 18.

La résistance R, de 2 à 5 kΩ, sert à diminuer l'effet de la capacité parasite du tube T sur l'anode du tube « vidéo ». C'est aussi pour cela qu'elle est branchée en P au lieu de A, ce qui n'affecte pas trop la forme des signaux de synchronisation.

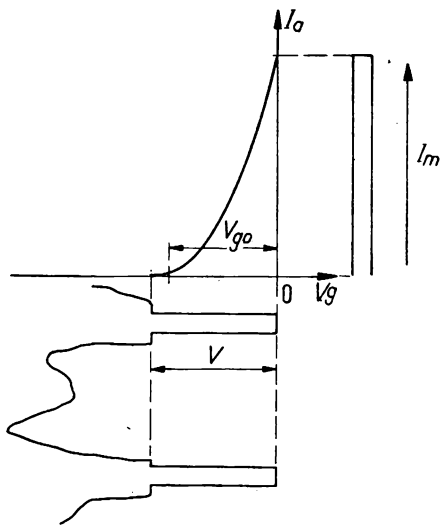


FIG. 18. — *Position des signaux dans le tube séparateur T.* ——→

3 — L'ÉCRÊTAGE UTILISE UN TUBE BLOQUÉ.

La figure 18 montre immédiatement le but poursuivi. Si les signaux de synchronisation ont une amplitude V supérieure au blocage V_{go} du tube, les signaux de lumière ne donnent aucun signal de sortie. Mais chaque impulsion de synchronisation donne une impulsion I_m de courant d'anode, donc une chute de la tension d'anode. Ces dernières impulsions, ainsi débarrassées du signal de lumière, servent à commander les retours des balayages.

4 — L'ÉCRÊTAGE CORRECT EXIGE UNE FAIBLE TENSION DE BLOCAGE.

Une vidéofréquence de 10 à 20 volts donne sur l'écran une image parfaitement visible, quoique pâle. Il est donc souhaitable qu'une telle image puisse être synchronisée. Cette vidéofréquence contient des signaux de synchronisation dont l'amplitude est de 2,5 à 5 volts.

Ainsi, le tube T doit pouvoir être bloqué à — 2 volts.

Un tel tube n'existe pas, tout au moins dans des conditions normales de travail. On emploie *une pentode avec tension d'écran très faible* de l'ordre de 10 à 20 V (fig. 19).

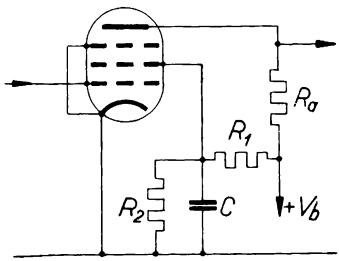


FIG. 19. — *Montage du tube séparateur : R_a = 10 à 47 kΩ ; R_2 = 1 MΩ ; R_1 = 200 kΩ ; C = 0,1 μF. Si l'on prend R_1 et R_2 plus faibles, le condensateur C n'est plus indispensable. On peut aussi supprimer R_2, à condition d'augmenter R_1 et de conserver C.*

5 — L'IMPULSION OBTENUE SUR L'ANODE N'EST PAS RECTANGULAIRE.

Il suffirait de dire que la bande passante du tube T est limitée par la constante de temps $R_a C_p$. Mais regardons l'action précise de ces éléments sur les impulsions de ligne et de trame.

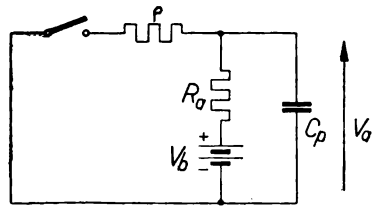


FIG. 20. — *Schéma équivalent au tube séparateur.*

Le tube peut être considéré comme un interrupteur. Le schéma équivalent est alors celui de la figure 20, ρ étant la résistance équivalente au tube, le long de la caractéristique $V_g = 0$. L'interrupteur est fermé pendant la durée d'une impulsion et ouvert le reste du temps.

a) Quand survient l'impulsion, la grille du tube passe du blocage à zéro. C_p, qui était chargé à la tension V_b par l'intermédiaire de R_a, va se décharger dans un circuit de constante de temps RC_p, où R représente R_a et ρ_i en parallèle (théorème de Thévenin). La figure 21 montre la variation correspondante de V_a, (exponentielle descendante). Cette décharge s'arrête quand l'impulsion disparaît.

b) La disparition de l'impulsion provoque le blocage du tube et la recharge de C_p à travers R_a (exponentielle montante). La constante de temps est alors R_aC_p.

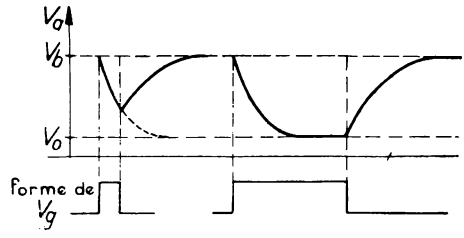


FIG. 21. — *Tension d'anode du séparateur, pour une impulsion courte (à gauche) ou longue (à droite).*

c) Pour une impulsion de grande durée, la décharge a le temps d'être complète. Elle atteint la tension $V_o = V_b \frac{\rho}{R_a + \rho}$. Les constantes de temps sont toujours les mêmes.

En résumé :

— *l'impulsion sortante est négative et triangulaire en général ;*

— *son amplitude dépend de la durée de l'impulsion de grille et de la constante de temps du circuit d'anode.*

REMARQUE — Si l'on désire une impulsion s'approchant autant que possible d'un rectangle, on devra prendre R_a suffisamment faible.

6 — LES SIGNAUX DE LIGNE SONT EXTRAITS PAR DIFFÉRENTIATION.

Considérons, pour simplifier, l'aspect idéal des signaux sortant du séparateur « synchro-vidéo » dans le cas de la trame paire (fig. 22 *a*) et de la trame impaire (fig. 22 *b*) (1), pour le standard français.

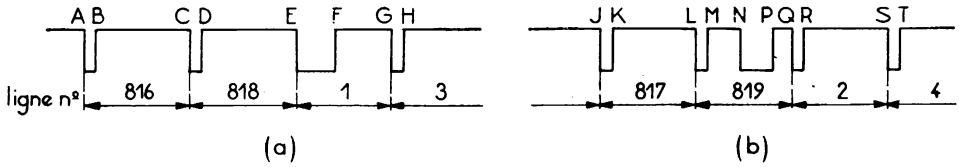


FIG. 22. — *Signaux de synchronisation théoriques.*

(1) On considère le voisinage de la limite de deux trames, ce qui permet d'observer les signaux de ligne et de trame.

Seuls les fronts avant tels que A, C, E, G, etc., qui surviennent à la fin d'une ligne, sont les signaux de synchronisation de ligne. C'est aussi le cas de J, L, Q, S etc. Les signaux de trame sont officiellement E (qui est aussi une fin de ligne) et N (situé au milieu de la ligne 819).

Après différentiation il apparaît les signaux de la figure 23. Sur la figure 23 (*a*), on remarque que les « tops » négatifs sont précisément les fronts servant à la synchronisation des lignes. Sur la figure 23 (*b*), il en est de même, sauf pour le « top » N. Mais cette impulsion survenant au milieu d'une ligne ne gêne pas car, même si elle synchronise la balayage des lignes (ce qui est peu probable car elle est trop loin d'une fin de ligne), celui-ci est correctement déclenché dès la ligne suivante (impulsion Q).

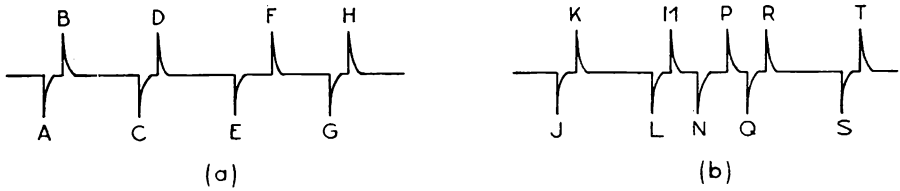


FIG. 23. — *Signaux de la figure* 22 *après différentiation.*

Il suffit donc d'utiliser seulement les impulsions négatives.

REMARQUE — Une diode pourrait sembler indispensable pour éliminer les impulsions positives. En réalité les bases de temps ne sont sensibles qu'à des signaux de sens donné (1). Il n'est pas nécessaire de supprimer les signaux de sens opposé.

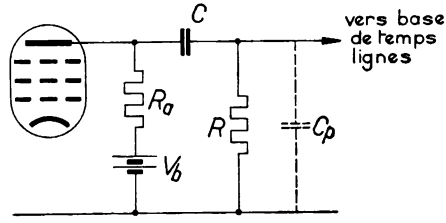


FIG. 24. — *Circuit différentiateur.*

EXEMPLE NUMÉRIQUE : On veut différentier les signaux de ligne et de trame dont la durée est respectivement de 2,5 μs *et* 20 μs. On utilise pour cela un circuit différentiateur (fig. 24) dont la constante de temps est très inférieure à 2,5 μs, par exemple 0,2 μs. RC = $0{,}2.10^{-6}$ s.

Pour que le circuit RC, en parallèle sur R_a, ne diminue pas trop l'impédance de charge du tube séparateur on prendra : $R \gg R_a$. Mais il est aussi nécessaire de prendre $C \gg C_p$, sinon le circuit ne sera

(1) Voir fascicule II.

pas différentiateur. Ces deux conditions sont souvent difficiles à concilier. Par exemple, avec $R_a = 22\ k\Omega$ et $C_p = 10\ p$F, la condition $R \gg R_a$ entraîne $R \simeq 100\ k\Omega$ au moins, ce qui donne :

$$C = \frac{0{,}2 \cdot 10^{-6}}{10^5} = 2p\text{F(!)}.$$

On est conduit à prendre $R \simeq 22\,k\Omega$ et $C \simeq 10\,p$F, à moins que l'on réduise R_a, ce qui améliorera la forme des signaux, au détriment de leur amplitude. La figure 25 donne l'aspect réel des signaux après dérivation.

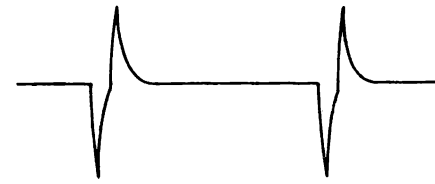


FIG. 25. — *Forme approchée des impulsions différentiées.*

7 — LES SIGNAUX DE TRAME PEUVENT ÊTRE TRIÉS PAR INTÉGRATION ET ÉCRÊTAGE.

Intégrons les signaux de la figure 22. Chaque impulsion courte donne une petite dent, chaque longue impulsion une dent beaucoup plus grande (fig. 26).

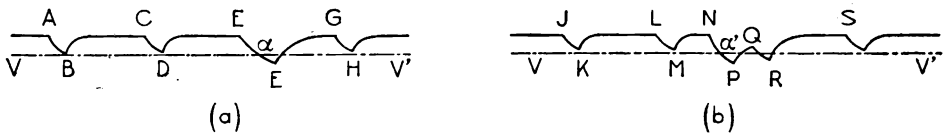


FIG. 26. — *Intégration des impulsions.*

Un écrêtage au niveau VV', ne laissant passer que les tensions plus négatives que ce niveau, fait apparaître uniquement les « tops » de trame. Ces signaux étant négatifs, l'écrêtage ne peut se faire par un tube bloqué, à moins de renverser les signaux dans un tube amplificateur supplémentaire.

D'autre part, l'instant de franchissement du niveau VV' est l'intersection d'une droite *horizontale* VV' avec une exponentielle de *faible pente* EF ou NP (points α et α'). Il est mal déterminé dans le temps. C'est pourquoi l'on préfère le système suivant.

8 — TRI DES SIGNAUX PAR « DIFFÉRENTIATION PARTIELLE » ET ÉCRÊTAGE.

Faisons passer les signaux de la figure 22 dans un circuit différentiateur dont *la constante de temps est de l'ordre de la durée du signal de trame.*

La figure 27 représente les signaux déformés par ce circuit.

Un écrêtage ne conservant que les signaux dépassant le niveau VV' permet de n'obtenir que les *fronts arrière* des signaux de trame.

Remarquer la complication causée figure 27 (*b*) par le signal de ligne suivant de peu celui de trame. Un relaxateur qui s'est synchronisé sur le premier front dépassant risque d'être influencé par le second.

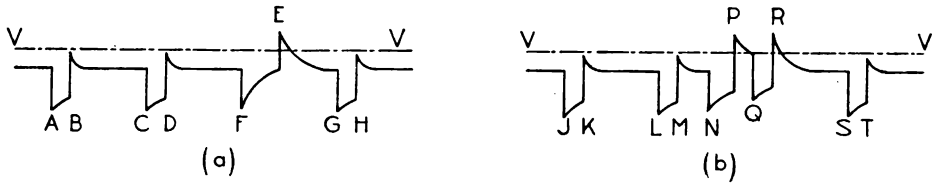


FIG. 27. — *Signaux déformés par un circuit de constante de temps égale à environ 3 fois la durée EF ou NP de l'impulsion de trame.*

REMARQUE — Officiellement, ce sont les fronts avants des signaux qui marquent la fin de chaque trame. Lorsque l'on utilise les fronts arrières, tous deux décalés de 20 μs (durée du créneau), les *deux* trames sont en retard de 20 μs (presque une demi-ligne), et *l'entralacé se conserve.*

9 — L'ÉCRÊTAGE DES SIGNAUX DE TRAME SE FAIT A L'AIDE D'UN TUBE BLOQUÉ.

Le sens des signaux obtenus sur l'anode du séparateur est bien celui qui convient. Le tube (fig. 28) est polarisé bloqué. On y arrive, soit en portant la cathode à un potentiel V_k supérieur à la valeur absolue de la tension de blocage, soit en polarisant la grille par la base de la résistance R_g. Le niveau VV' de la figure 27 est alors le potentiel de blocage du tube.

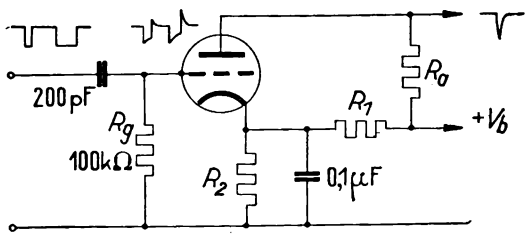


FIG. 28. — *Schéma du tube trieur d'impulsions de trame.*

Seules, les impulsions dépassantes produisent du courant d'anode, et l'on recueille des impulsions *négatives* (fig. 28).

REMARQUE : Le tube ne peut pas être polarisé de façon automatique, car le courant d'anode ne passe que pendant 10 µs environ tous les 1/50 de seconde. Sa moyenne est très faible et inutilisable. De même, on ne peut pratiquer l'alignement des signaux de grille sur la crête des impulsions dépassantes de trame, ce qui interdit un fonctionnement similaire à celui du séparateur synchro-vidéo.

10 — SCHÉMA COMPLET DES ÉTAGES SÉPARATEUR ET TRIEUR (exemple) (fig. 29).

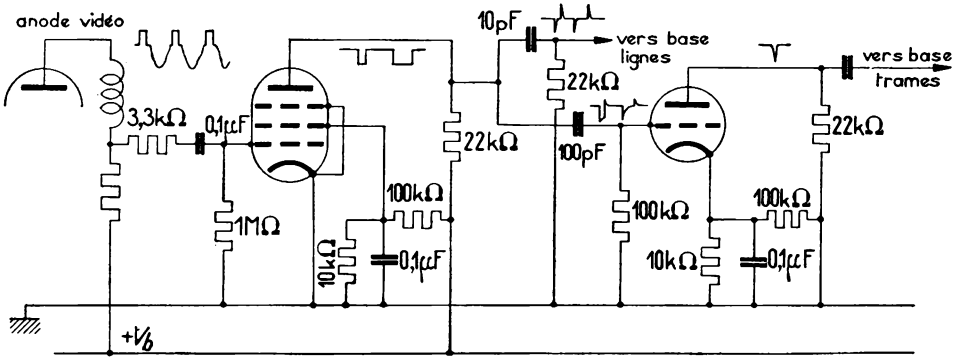
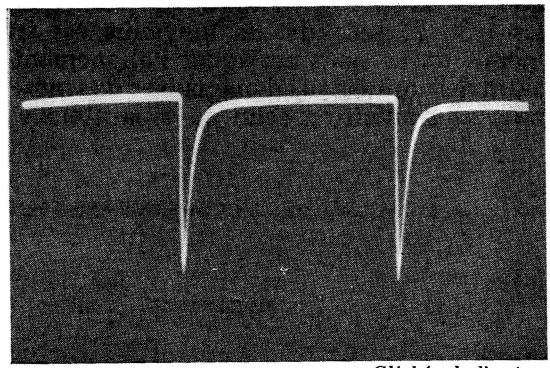


FIG. 29. — *Schéma complet de la séparation dans un téléviseur. Le tube employé ici est une penthode-triode ECF 80.*

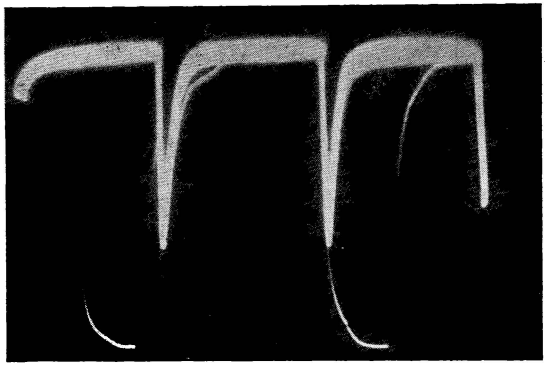
11 — LES MÊMES SCHÉMAS CONVIENNENT AUX STANDARDS DE TÉLÉVISON ÉTRANGERS.

Seuls les signaux de trame sont différents. Ils comportent une série de créneaux. Mais comme le premier front dépassant est seul utilisé, les autres signaux, dits « d'égalisation », sont sans effet.

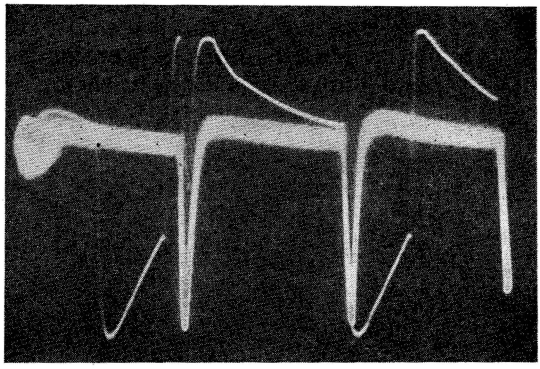
Tension d'anode du séparateur (comparer avec la figure 21). A droite, les impulsions de ligne. Ci-dessous en poussant la luminosité de l'oscilloscope, on voit les impulsions de trame, dont on remarquera l'emplacement respectif ——————→



Clichés de l'auteur



Forme des signaux après différentiation partielle. →



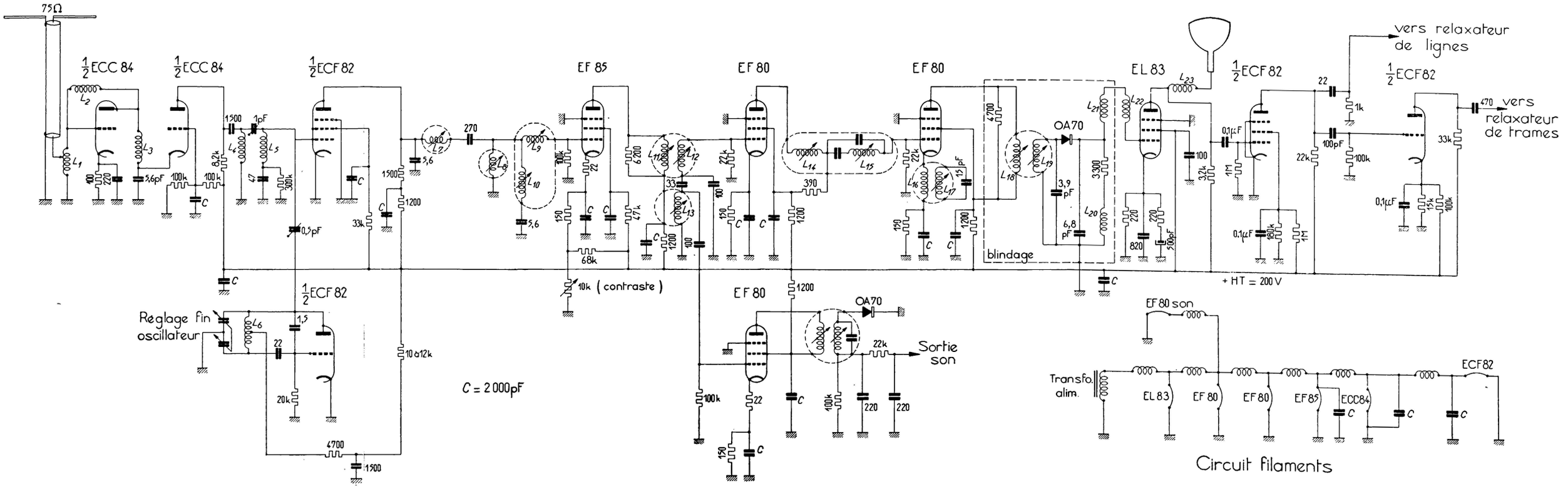


FIG. 30. — *Schéma général de la réception des signaux.*

E. — Schéma général de la réception des signaux

Le dépliant représente, extraite d'un montage commercial, la partie « réception et séparation des signaux ».

Le tube double-triode ECC84 est monté en cascode. L_1, L_3 sont des circuits accordés. L_2 est une bobine de neutrodynage de la première triode. L_4 et L_5 constituent un filtre de bande, le couplage étant réglable à l'aide du petit condensateur ajustable de 1 pF. Ce filtre est amorti au primaire par 8,2 kΩ. Grâce au pont des deux résistances de 100 kΩ, la grille de la 2e triode, donc la cathode (cathode follower), a un potentiel voisin de 100 V, ce qui partage la tension d'alimentation entre les deux triodes et leur assure pratiquement le même point de fonctionnement.

Le tube ECF 82 réalise un changement de fréquence additif. Dans l'anode de la pentode, on trouve deux circuits : L_7 et L_9, couplés par L_8 (couplage réglable). L_{10} et le condensateur de 5,6 pF constituent un « réjecteur » destiné à parfaire le flanc de la courbe de réponse. Le contraste se règle manuellement par variation du potentiel de cathode du tube EF 85 (à « pente variable »). Remarquer la résistance cathodique de 22Ω compensant la variation de la capacité d'entrée (voir chapitre VII).

Ce tube est relié au suivant par un couple (L_{11}, L_{12}). L_{13}, accordée par les capacités parasites, est un réjecteur de son. La tension entre ses bornes est acheminée par 100 pF vers le tube EF 80 inférieur, qui est le premier de partie réception du son ; ainsi, son et image ont été amplifiés ensemble par les tubes ECC 84, ECF 82 et EF 85. Après cet étage EF 80, la porteuse son est détectée et envoyée (sortie son) dans un amplificateur pour basses fréquences courant, non représenté.

La fréquence intermédiaire de vision présente aux bornes de L_{12} est amplifiée par une EF 80, dont la charge d'anode est un circuit oscillant série L_{14}, amorti par 390 Ω. L_{15} et les condensateurs associés forment un circuit bouchon réjecteur de son. L_{17} est encore un réjecteur de son, travaillant par contre-réaction cathodique, grâce à un couplage adaptateur d'impédance (L_{16}).

L_{18}, L_{19} constituent un couple, attaquant le détecteur à cristal semi-conducteur OA 70. L_{20}, L_{21}, L_{22}, sont les bobines de correction, permettant d'avoir une charge de détection de 3 300 Ω.

Le tube « vidéo » EL 83 est monté avec un circuit de cathode compensateur de phase, qui améliore la constance du délai de transmission. L_{23} est une bobine de correction.

Le séparateur ECF 82 est monté de façon classique. Il est suivi du circuit différentiateur (22 pF, 1 k Ω, soit 0,022 μs de constante de temps) et du circuit différentiateur partiel (100 pF, 100 k Ω, soit 10μs).

Le circuit des filaments comporte des découplages soignés, obtenus à l'aide de bobines et de condensateurs dont l'ordre et la disposition sont essentiels.

REMARQUE. — Pour achever le schéma complet du récepteur, il suffit d'ajouter à ce dépliant le schéma du balayage horizontal donné au paragraphe VI-C-9 et celui du balayage vertical donné au paragraphe VI-D-11. Bien entendu, il faudrait adjoindre une alimentation générale.

Exercices

IV – 1. Pourquoi est-il impossible de séparer des signaux « transmodulés »?

IV – 2. On peut éviter la transmodulation son-image en diminuant l'intensité des signaux à l'entrée du récepteur. Ce procédé est peu recommandable et semble un non-sens. Pourquoi?

IV – 3. Faire le schéma d'un étage amplificateur pour V H F, utilisant une pentode à forte pente ; on donnera les valeurs numériques des éléments, y compris le numéro du tube.

Pourquoi les pentodes font-elles plus de bruit de fond que les triodes?

IV – 4. *a*) Une triode est montée de façon classique avec une résistance de charge d'anode. En considérant comme seule capacité parasite la capacité anode-grille, calculer l'impédance d'entrée entre grille et cathode.

b) La résistance de charge est remplacée par une impédance complexe. Montrer que le montage risque d'osciller, car il peut apparaître une résistance négative à l'entrée.

c) Montrer alors que, si l'impédance d'anode est une résistance shuntée par la capacité parasite anode-cathode, aucun risque d'oscillation n'est à craindre.

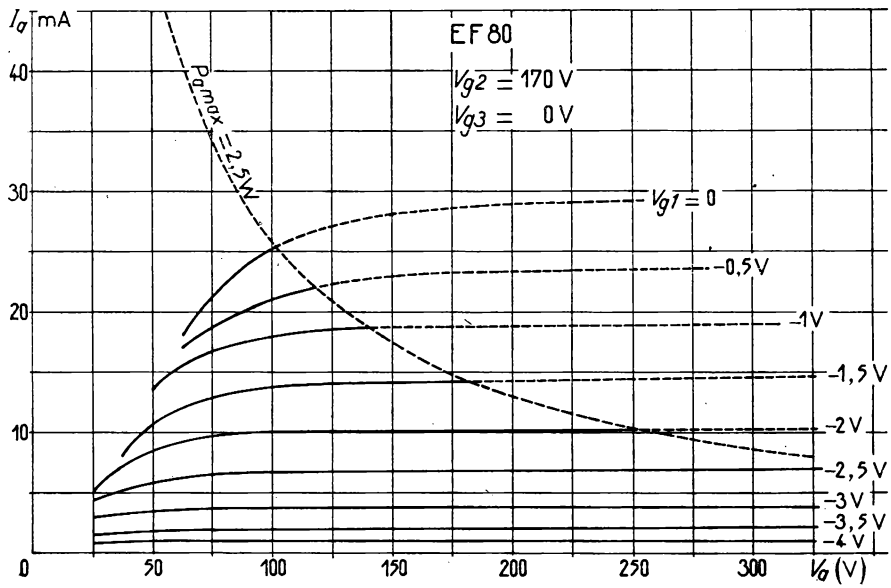
IV – 5. Un amplificateur accordé utilise des tubes tels que les capacités parasites servant de capacités d'accord sont de 15 pF. Calculer la valeur de l'inductance à employer pour avoir un accord sur 40 MHz. De même pour 200 MHz.

Faire un projet de bobine pour chaque cas, en admettant que la formule du solénoïde long peut s'appliquer : on choisira un diamètre et une longueur raisonnables et on calculera le nombre de spires.

IV – 6. Le schéma dépliant du présent chapitre comporte, couplé dans la cathode du dernier tube F I vision, un réjecteur de son agissant par contre-réaction de cathode. Expliquer clairement et en détail le fonctionnement de ce circuit.

IV – 7. Un récepteur pour modulation de fréquence reçoit en général fort bien une émission modulée en amplitude, située bien entendu dans la même gamme, c'est-à-dire entre 90 et 100 MHz. Or, il arrive de recevoir ainsi le son de la télévision. En admettant que l'oscillateur du changeur de fréquence de ce récepteur soit doué d'harmonique deux, expliquer, par un calcul simple, comment on peut recevoir le son d'un émetteur de télévision, transmis sur 188 MHz, sachant que la fréquence intermédiaire du récepteur à modulation de fréquence est de 10,7 MHz.

IV – 8. A l'aide du réseau ci-contre, trouver la tension crête à crête vidéofréquence la plus grande que peut fournir un tube EF 80, aux bornes du secondaire d'un couple de circuits accordés au couplage critique dont le primaire est branché dans l'anode, chaque circuit étant amorti par une résistance de 3 kΩ en parallèle.



IV – 9. Les diodes à semi-conducteur ont une caractéristique répondant à l'équation : $I = I_0(\exp \frac{eV}{kT} - 1)$, dans laquelle I est le courant direct (algébrique) ; I_0 une constante appelée courant de saturation, V la tension directe appliquée (algébrique), e la charge de l'électron, k la constante Boltzmann et T la température absolue. En pratique : $\frac{kT}{e} = 25$ millivolts.

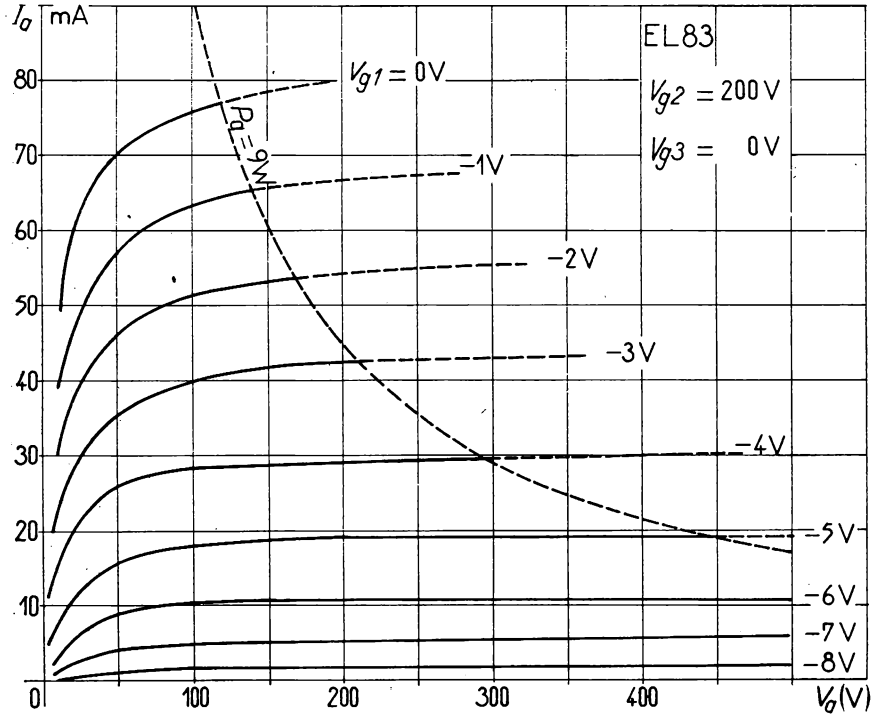
Pour une certaine diode $I_0 = 2\ \mu A$. Tracer la caractéristique pour V compris entre — 2 volts et + 0,2 volt et reconstituer le réseau de caractéristiques de détection.

Cette diode reçoit une tension à fréquence intermédiaire (modulée en vidéo) de 2 volts lorsque la modulation correspond à du blanc. Les signaux de synchronisation ayant une profondeur de modulation normale de 30%, quelle est leur nouvelle amplitude relative après détection, la diode étant chargée par une résistance de 1 kΩ?

IV – 10, Un tube « vidéo » EL 83 est monté comme dans le schéma dépliant.

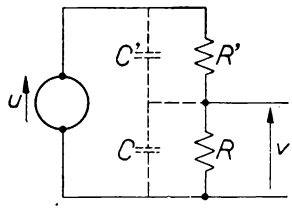
Le réseau étant donné ci-contre, trouver le point de fonctionnement (V_a, I_a, V_g). On admettra : $I_{g2} = I_a/7$.

Faire le schéma de l'alimentation du wehnelt du tube cathodique, en employant un potentiomètre de « luminosité » de 1 MΩ. Le tube cathodique ayant une tension de blocage de — 100 V, quelle est la position exacte du curseur de ce potentiomètre si, en l'absence de toute émission, l'écran est noir?



Le tube reçoit maintenant une « vidéo » de 3 volts, contenant des signaux de synchronisation de 30 %. De combien doit-on déplacer le curseur du potentiomètre de « luminosité » pour que le niveau du noir corresponde au blocage du tube cathodique ?

IV - 11. Un atténuateur est constitué d'un diviseur dans lequel les capacités parasites C et C′ (figure ci-contre) ne sont pas négligeables. Calculer l'expression de $\frac{v}{u}$ fonction de la fréquence. (Pour simplifier l'écriture, on pourra poser $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ et $\omega_0' = \frac{1}{R'C'}$ et on fera intervenir la quantité « réduite » : $\frac{f}{f_0} = \frac{\omega}{\omega_0} = x$ ainsi que $\frac{f}{f_0'} = x'$).



D'après cette expression, trouver la condition telle que $\frac{v}{u}$ soit indépendante de la fréquence (atténuateur dit « compensé »).

Le générateur u présente maintenant une résistance interne ρ. Quelle est la nouvelle bande passante de l'atténuateur compensé?

Application numétique : $\rho = 100\,\Omega$ (cathode follower) ;

$$R' = 9R = 9k\Omega\,; \qquad C' = 5\,pF\,;$$

C est ajusté pour répondre à la condition calculée.

IV - 12. *Séparateurs de synchronisation.* — On dispose d'un signal de vidéofréquence de 30 volts crête à crête comprenant des signaux de synchronisation dont l'amplitude est de 30%. On suppose que l'image transmise est entièrement blanche.

1° Dessiner, à l'échelle de 2 mm pour 1 μs et 1 mm pour 1 volt, la représentation de la tension en fonction du temps, pour 2 lignes situées loin d'une fin ou d'un début de trame. On se reportera aux normes de la R. T. F. (819 lignes) et on supposera les montées et les descentes instantanées. Calculer la composante continue de cette vidéofréquence.

2° Par un condensateur de liaison et une résistance de fuite de grille, cette vidéo est appliquée dans le sens négatif sur la grille non polarisée d'un tube EF 86 (réseau I_a, V_a joint). Quelle tension trouve-t-on sur grille avec un voltmètre à courant continu?

3° Le tube est chargé par une résistance d'anode de 50 kΩ, reliée à une source de 250 V. Faire le schéma complet avec valeurs numériques, pour que le tube travaille avec une tension de grille n° 2 de 140 volts.

4° Évaluer la résistance interne du montage, vue aux bornes de la résistance d'anode :

a) quand le tube est bloqué ;

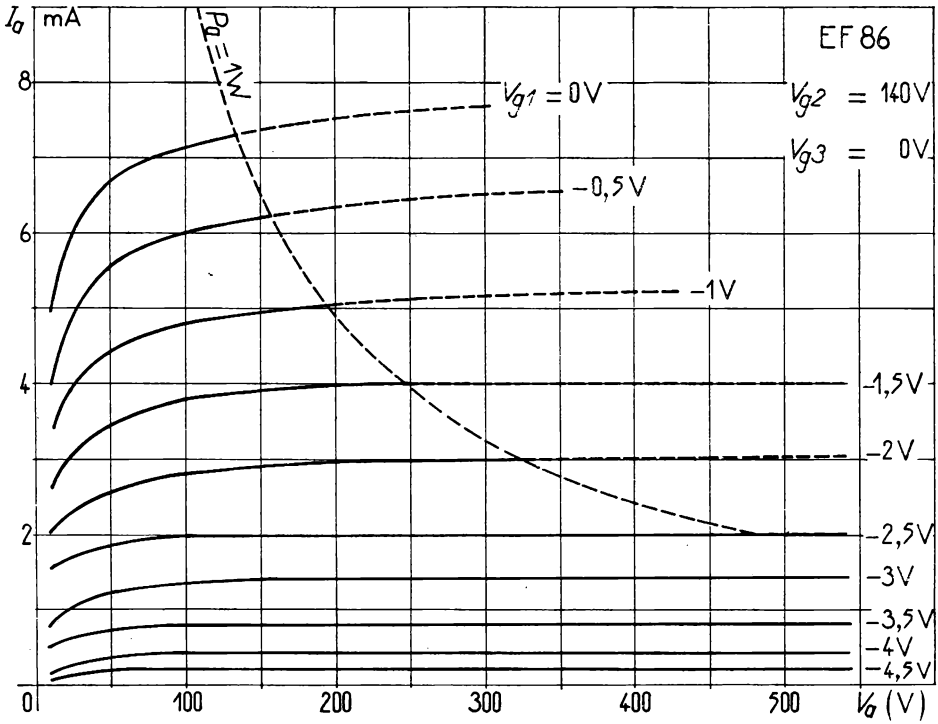
b) quand le tube reçoit une impulsion de synchronisation.

5° Cette résistance interne étant supposée constante, dessiner, à l'échelle de 1 cm pour 1 μs et 4 mm pour 10 v, les signaux sur l'anode,

a) pour une impulsion rectangulaire de durée 2,5 μs, appliquée sur la grille ;

b) pour une impulsion rectangulaire de durée 20 μs, en admettant dans les deux cas que la capacitéparasite sur l'anode est de 50 pF.

6° Redessiner, toujours à l'échelle du 5°, les mêmes signaux dans le cas où $R_a = 10$ kΩ, après avoir évalué à nouveau les constantes de temps relatives à la montée et à la descente.



7° On envoie les signaux obtenus au 6° dans un circuit partiellement différentiateur de constante de temps 10 μs. Dessiner approximativement, mais le plus près possible de la réalité, la forme des signaux qui en sortent (toujours à l'échelle du 5°).

8° Ces signaux sont dirigés vers la grille d'un deuxième séparateur. Quelle doit être la tension de blocage de grille pour que l'on ne trouve sur l'anode que des signaux relatifs aux impulsions de 20 μs.

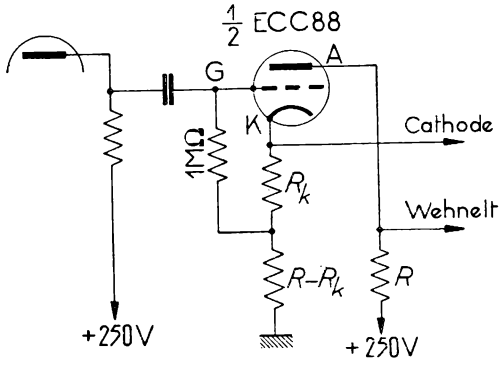
N. B. — On s'efforcera de faire tous les dessins sur une seule feuille de papier millimétré 21 × 27 cm, sans toutefois les superposer entre eux.

IV – 13. Dans les principes généraux, au début de cet ouvrage, une figure représente l'aspect de deux trames entrelacées. Or, dans les récepteurs,

comme on l'a vu dans l'étude des séparateurs, la synchronisation des trames est retardée, pour chacune d'elles, de 20 μs. Dessiner avec précision la position des lignes d'une image à 9 lignes, telles qu'on les verrait sur l'écran d'un récepteur, dans les conditions de synchronisation retardée ci-dessus.

IV – 14. *Étage de sortie vidéo à déphaseur cathodique* (1).

La charge d'anode des tubes vidéo doit être faible si l'on veut avoir un temps de montée suffisamment court. Il est alors souvent impossible, avec un tube genre EL 83 par exemple, d'avoir la centaine de volts crête à crête nécessaire pour attaquer à fond un tube cathodique. Il est par contre facile d'obtenir une cinquantaine de volts. On attaque alors le tube cathodique par la cathode et par le wehnelt à l'aide d'un déphaseur « cathodyne (schéma ci-contre). Dans ce montage, la grille est polarisée grâce à R_k que l'on considérera comme faisant partie de la charge de cathode, celle-ci étant identique à la charge d'anode R = 5 kΩ. On appelle u la tension variable entre G et la masse, v la tension variable entre A et lamasse et v' celle entre K et la masse.



1° Montrer que le point de fonctionnement du tube ECC 88 se déplace sur une droite de charge.

2° On veut que le fonctionnement soit centré (un signal alternatif doit atteindre simultanément le domaine de blocage et le domaine du courant grille). Placer le point de fonctionnement, et donner la raison du choix.

3° Calculer R_k pour obtenir ce point.

4° Calculer les paramètres du tube au point de fonctionnement et les amplifications :

$$A = \frac{v}{u} \qquad \text{et} \qquad A' = \frac{v'}{u}$$

littéralement puis numériquement.

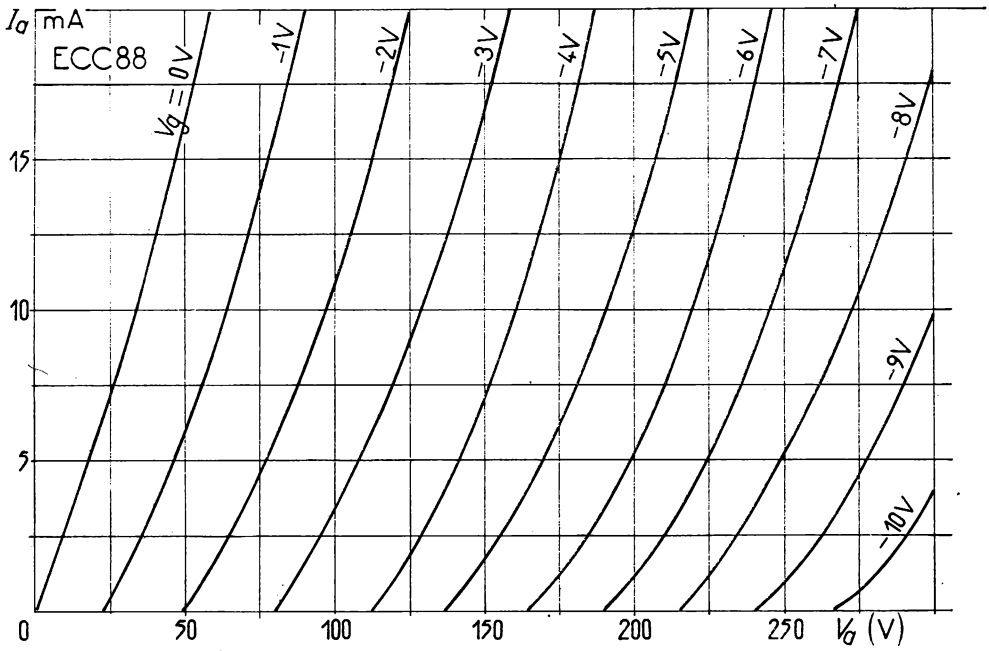
5° Quelle valeur crête à crête la plus grande peut-on admettre pour u, et quelle valeur obtient-on alors pour v_{ak} crête à crête?

6° Entre A et la masse, ainsi qu'entre K et la masse existent des capacités parasites C de 10 pF. Les représenter sur le schéma.

Calculer littéralement et numériquement la fréquence de coupure haute (celle pour laquelle le module de l'amplification est divisé par $\sqrt{2}$). Pour faciliter le calcul, on mettra les impédances sous la forme : $\frac{R}{1 + jx}$ et

(1) Problème de préparation au Certificat d'Études Supérieures d'Électronique, Faculté des Sciences de Bordeaux.

on cherchera ensuite à mettre les formules de $A(\omega)$ et de $A'(\omega)$ sous la forme : $\frac{A}{1+jy}$ et $\frac{A'}{1+jy}$ où y est égal à x multiplié par un certain facteur et où A et A′ sont les valeurs trouvées au 4°.



7° Quel est le temps de montée?

8° Par suite de la présence de la capacité anode-grille, le montage peut être perturbé pour une fréquence nettement inférieure à celle calculée à la sixième question. Montrer que c'est la résistance interne du générateur de tension u qui est la cause de cette chute de performance. Quelle est sa valeur maximale pour que le montage conserve approximativement les performances trouvées en (6) et (7)?

IV – 15. *Questions sur le schéma dépliant de la réception des signaux.* — Comment la bobine L_2 peut-elle neutrodyner le tube triode?

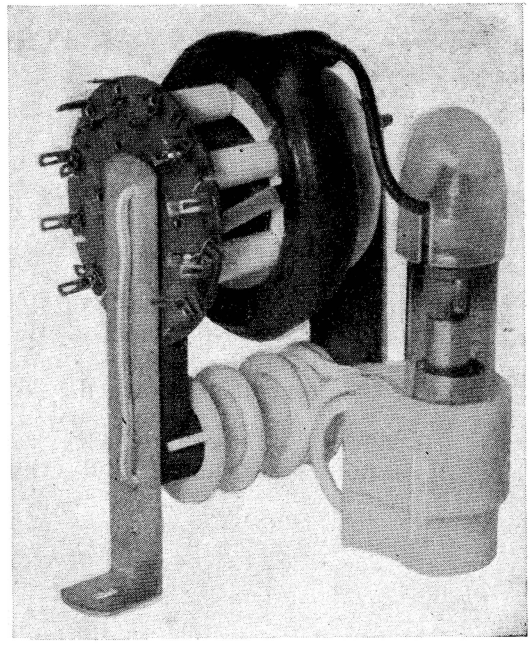
Une résistance de 4 700 Ω sert à alimenter en haute tension le tube oscillateur, triode ECF82 ; que se passe-t-il si on la court-circuite, l'alimentation étant tout de même assurée alors, grâce à la résistance de 10 k Ω?

Le contraste se règle à l'aide d'un potentiomètre de 10 kΩ placé dans la cathode du tube EF 85 ; quel est le rôle de la résistance de 68 k Ω?

Le réjecteur de son L_{17} opère par contre-réaction ; expliquer en détail son fonctionnement.

Pourquoi le détecteur doit-il être blindé?

Quelle est l'utilité de la résistance de 22 Ω située dans la cathode du tube EF 80 amplificateur F. I. son?



Transformateur THT Vidéon

V. — GÉNÉRALITÉS SUR LES BALAYAGES MAGNÉTIQUES

Nous avons vu, au chapitre traitant des tubes cathodiques de télévision, qu'il était nécessaire de dévier le faisceau par des champs magnétiques. Pour obtenir ces champs, on doit créer dans les bobines de déviation placées sur le col du tube, des courants en dents de scie.

La conception des générateurs de balayage exige d'abord la fixation de l'ordre de grandeur des tensions et courants nécessaires, ce qui amène des considérations de puissance revêtant une importance de tout premier ordre.

A. — Tensions et courants de balayage

1 — LES DÉVIATIONS HORIZONTALE ET VERTICALE EXIGENT PRATIQUEMENT LA MÊME INDUCTION MAGNÉTIQUE.

Cette induction est en effet proportionnelle à l'angle de déviation que l'on désire obtenir. Or, pour un tube courant, dit « 90° » par exemple, la déviation horizontale est de ± 42,5° (85° de gauche à droite) et la déviation verticale de 34° (68° de haut en bas). La différence est donc de 20 %. Par conséquent, le même montage semble pouvoir convenir pour les deux déviations.

D'après l'expression de la déviation magnétique des électrons (p. 8), nous pouvons évaluer l'induction nécessaire ; rappelons que

$$x = \sqrt{\frac{e}{2m}} \frac{BlD}{\sqrt{Va}},$$

x = déviation linéaire du spot sur l'écran,
$\frac{e}{m}$ = rapport de la charge e à la masse m de l'électron, soit $1{,}76.10^{11}$
B = induction de déviation,
l = longueur du faisceau sur laquelle l'induction agit,
D = distance du centre du système de déviation à l'écran,
Va = tension d'accélération des électrons.

EXEMPLE NUMÉRIQUE

Un tube est soumis à une tension d'accélération de 14 000 *V. Les bobines de déviation agissent sur une longueur de* 5 *cm, et l'écran est à* 25 *cm du centre des bobines. Quelle est la sensibilité de la déviation en millimètre par gauss?*

En faisant dans la formule B = 1 gauss, c'est-à-dire 10^{-4} tesla en unités S. I, on obtient :

$$x = \sqrt{\frac{1{,}86 \cdot 10^{11}}{2}} \times \frac{10^{-4} \times 0{,}05 \times 0{,}25}{\sqrt{14\,400}} = 3 \cdot 10^{-3} m.$$

La déviation est de 3 *millimètres par gauss.*

Prenons l'exemple d'un écran de 48 cm de large. Il faudra disposer d'une induction pouvant varier de :

$$\frac{480}{3} = 160 \text{ gauss } (1).$$

2 — LA CONSTRUCTION DES BOBINES EST CONDITIONNÉE PAR L'ESPACE DISPONIBLE SUR LE COL DU TUBE.

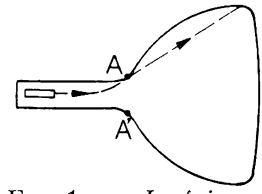


FIG. 1. — *Le faisceau cathodique peut buter en A et A' dans le verre du tube.*

L'ensemble de déviation doit être assez long pour agir le plus possible sur le faisceau, mais pas trop long pour éviter que celui-ci ne rencontre le bord du col du tube (A et A', fig. 1) par suite d'une déviation prématurée. On est donc conduit à tasser l'ensemble de déviation vers la partie conique du tube, sur laquelle il s'épanouit. Ces considérations entraînent un volume limité des bobines. Ainsi, on devra admettre un courant appréciable dans un fil relativement fin, pour arriver à un encombrement suffisamment réduit.

Les enroulements sont disposés sur un noyau de ferrite dont la perméabilité augmente l'induction disponible. On arrive ainsi à des bobines de 10 à 30 mH, dans lesquelles passe un courant de 0,3 à 1 A crête à crête. La résistance du fil constituant les bobines est de quelques ohms ou quelques dizaines d'ohms suivant la valeur de l'inductance.

EXEMPLE NUMÉRIQUE

Bloc de déviation marque « X » :
Déviation horizontale : 10 mH ; 12,5 Ω ; 1,2 A *c. à. c.*
Déviation verticale : 32 mH ; 35 Ω ; 0,4 A *c. à. c.*

3 — LES TENSIONS MISES EN JEU SONT ÉLEVÉES.

Les bobines de déviation sont parcourues par des courants variant linéairement en fonction du temps. Nous pouvons appliquer la formule

(1) Cela n'est qu'un ordre de grandeur, car la formule n'est valable que pour les faibles déviations, et pour un champ uniforme, ce qui n'est pas le cas.

de la f. e. m. d'autoinduction, sans restriction, aux durées complètes de variation du courant. Prenons le cas du bloc de déviation « X » du paragraphe 2.

a) ***Balayage horizontal.***

Le courant croît pendant l'aller du spot, soit (standard français) :

$$49\ \mu s - 7{,}5\ \mu s = 41{,}5\ \mu s.$$

La différence de potentiel est, aux bornes de la bobine :

$$u = Ri + e$$

Calculons e dans le cas de l'exemple numérique du § 2 :

$$e = L\frac{\Delta i}{\Delta t} = 10^{-2} \times \frac{1{,}2}{41{,}5 \cdot 10^{-6}} = 290V.$$

Pendant le retour, cette grandeur devient :

$$e' = 10^{-2} \times \frac{1.2}{7{,}5 \cdot 10^{-6}} = 1\,600V.$$

La chute de tension provoquée par la résistance de la bobine est au maximum de $1{,}2 \times 12{,}5 = 15$ V, *négligeable devant les phénomènes d'induction.*

b) ***Balayage vertical.***

Un calcul similaire donne pour les trames :

— aller : $e = 32 \cdot 10^{-3} \times \frac{0.4}{18 \cdot 10^{-3}} = 0{,}7V$;

— retour : $e' = 32 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0{,}4}{2 \cdot 10^{-3}} = 6{,}4V$

— chute ohmique maximale : $35 \times 0{,}4 = 14V$.

Ici, la chute ohmique l'emporte sur les phénomènes d'induction.

B. — Différences fondamentales entre le balayage horizontal et le balayage vertical

1 — LA DURÉE DU BALAYAGE HORIZONTAL EST 400 FOIS PLUS FAIBLE QUE CELLE DU BALAYAGE VERTICAL.

Le rapport des deux est évidemment rigoureusement égal au nombre de lignes d'une trame, soit 409,5 en France.

Nous continuerons à parler de durées et non de fréquences, car il semble préférable d'éviter ce terme dans les phénomènes non sinusoïdaux.

2 — LES TENSIONS MISES EN JEU SONT TRÈS DIFFÉRENTES.

En effet, les chutes ohmiques et les variations de courant sont du même ordre, mais les deux valeurs de Δt dans la relation $e = L\frac{\Delta I}{\Delta t}$ sont dans le rapport de 400.

3 — LE COMPORTEMENT DES BOBINES EST TRÈS DIFFÉRENT DANS LES DEUX CAS.

La constante de temps des bobines de déviation est la même pour les deux balayages.

Prenons l'exemple cité au chapitre précédent. Pour les bobines de ligne, la constante de temps est :

$$\theta_H = \frac{L}{R} = \frac{10^{-2}}{12{,}5} = 0{,}8\ ms.$$

Pour les bobines de trame, elle est pratiquement la même :

$$\theta_V = \frac{32 \cdot 10^{-2}}{35} = 0{,}9\ ms.$$

Pour le balayage des lignes, la durée de la dent de scie est de 41,5 µs, donc très inférieure à θ_H.

Pour le balayage des trames, au contraire, la durée de la dent de scie est de 18 ms, donc très supérieure à θ_V.

Ces résultats sont confirmés par les valeurs des tensions calculées au § A-3.

Il en résulte pratiquement que :

— les bobines de ligne se comportent comme une inductance pure;

— les bobines de trame se comportent comme une résistance pure.

4 — LES ÉCHANGES D'ÉNERGIE SONT TRÈS IMPORTANTS DANS LE BALAYAGE HORIZONTAL (LIGNES).

L'énergie électromagnétique emmagasinée dans une bobine est $W = \frac{1}{2} Li^2$, i étant le courant passant à l'instant considéré.

A la fin d'une ligne, l'énergie emmagasinée devient pour l'exemple choisi :

$$W = \frac{1}{2} LI^2_{max} = \frac{1}{2} \times 10^{-2} \times (1{,}2)^2 = 0{,}72 \times 10^{-2} \text{J (joule).}$$

Chaque ligne exige une variation du courant de 0 à I_{max}. En admettant que l'on dissipe en chaleur, à chaque fin de ligne, l'énergie emmagasinée, celle-ci s'élève, après une seconde, c'est-à-dire pour 20 475 lignes, à :

$$0{,}72 \times 10^{-2} \times 20\,475 = 146 \text{ watts.}$$

Ceci est, par définition, la *puissance* consommée par le balayage.

La puissance exigée par le balayage des lignes pose un problème important.

Cette puissance ne peut être fournie normalement par des tubes courants de réception. Nous verrons qu'un montage très ingénieux permet de récupérer la plus grande partie de l'énergie magnétique, et par suite, d'employer des tubes de puissance raisonnable, mais spéciaux.

5 — L'ÉNERGIE MISE EN JEU DANS LE BALAYAGE VERTICAL (TRAMES) EST FAIBLE.

Le calcul ci-dessus donne, pour une trame :

$$W = \frac{1}{2} \cdot 32 \cdot 10^{-3} (0{,}4)^2 = 2{,}56 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

et pour 1 seconde (50 trames) :

$$2{,}56 \cdot 10^{-3} \times 50 = 0{,}128 \text{ W.}$$

C. — Organisation des circuits de balayage Relaxateurs pilotes

1 — LES FONCTIONS D'OSCILLATEUR ET D'ÉTAGE DE PUISSANCE (1) SONT SÉPARÉES.

Il est en effet difficile de faire fonctionner correctement un auto-oscillateur créant des courants en dents de scie importants dans des

(1) C'est intentionnellement que nous n'écrivons pas « amplificateur » de puissance.

bobines. Les tubes de puissance doivent travailler dans des conditions optimales déterminées par une forme précise de la tension de grille. Cette tension est fournie par un *relaxateur-pilote*, suivi d'un circuit soigné de *mise en forme*.

Ces relaxateurs-pilotes sont, essentiellement, des générateurs capacitifs de tensions en dents de scie, faciles à construire et à synchroniser. Ils sont étudiés en détail dans le fascicule II.

La figure 2 fait ressortir la disposition des principaux circuits.

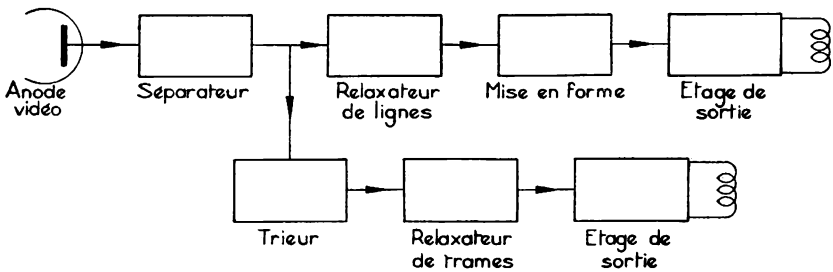


FIG. 2. — *Disposition des circuits de balayage.*

2 — LES RELAXATEURS PILOTES AGISSENT COMME TUBES INTERRUPTEURS.

Nous verrons, en effet, dans l'étude des générateurs de courants de balayage, qu'il ne faut pas les attaquer avec des tensions en dents de scie linéaires. Ceci est capital : *les étages de puissance ne sont pas des amplificateurs au sens habituel de ce terme.* Ils demandent simplement à être commandés par des tensions de forme adéquate, que nous étudions plus loin. Ces tensions seront obtenues en utilisant les tubes des relaxateurs-pilotes comme *interrupteurs*.

EXEMPLE : la figure 3 montre l'anode de l'un des tubes d'un multivibrateur. Le courant anodique est tour à tour bloqué ou non. Le circuit R C sert alors à créer aux bornes de C des tensions en dents de scie, produites par la charge de C à travers R à partir de la source V_b, et sa décharge dans le tube lorsque le courant anodique passe.

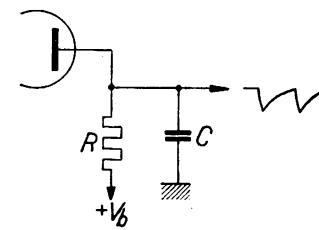


FIG. 3. — *Obtention de dents de scie à l'aide d'un tube interrupteur.*

En remplaçant le circuit R C par un circuit plus complexe, on peut créer des formes d'onde variées.

3 — EN TÉLÉVISION, ON N'UTILISE QUE L'OSCILLATEUR A BLOCAGE ET LE MULTIVIBRATEUR.

Ces deux types de relaxateurs équipent pratiquement la totalité des circuits de balayage construits à l'heure actuelle dans le monde.

Les thyratrons qui avaient permis d'équiper les premiers appareils de télévision entièrement électroniques, se voient reprocher leur difficulté de fonctionner à fréquence élevée, et leur inaptitude à procurer des retours rapides. Ces reproches nous paraissent loin d'être justifiés, car ces tubes permettent de balayer correctement les oscillographes jusqu'à 20 kHz au moins.

a) *L'oscillateur à blocage est un oscillateur ordinaire, se bloquant périodiquement.*

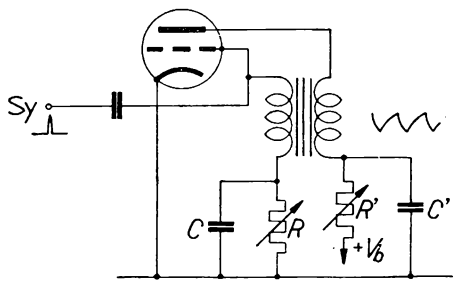


FIG. 4. — *Schéma de l'oscillateur à blocage (« blocking »).*

Fréquence de récurrence	R	C	R'	C'
50 Hz	1 MΩ	0,1 μF	0,2 MΩ	0,1 μF
20 *k*Hz	0,2 MΩ	250 *p*F	0,2 MΩ	1 *n*F

Une grande constante de temps du circuit de grille jointe à un fort couplage grâce au transformateur (fig. 4) permettent d'obtenir ce fonctionnement.

Le courant anodique est formé d'impulsions, séparées de coupures relativement longues, ce qui réalise un tube-interrupteur.

Ce montage se synchronise par des impulsions positives appliquées sur la grille, celles-ci provoquant l'impulsion de courant anodique, donc la fermeture de l' « interrupteur ».

b) *Le multivibrateur est presque toujours monté avec un couplage cathodique.*

Ce schéma (fig. 5) est presque le seul employé en télévision, car il libère la grille du tube T, susceptible de recevoir des impulsions de synchronisation, et libère aussi l'anode du tube T', ce qui permet d'insérer le circuit de mise en forme des tensions destinées à l'étage de puissance.

REMARQUE — On constate que, dans la plupart des appareils, le relaxateur du balayage des lignes est un multivibrateur, alors que celui des trames est un oscillateur à blocage.

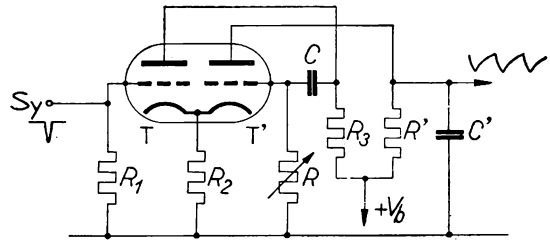


FIG. 5. — *Schéma du multivibrateur à couplage cathodique : R, C, R', C' = mêmes valeurs que figure 4; R_1 : 1kΩ; R_3 : 20 à 50 kΩ.*

Exercices

- 1 L'écran d'un tube cathodique a un rayon de courbure de 1 m. Or le point autour duquel pivote le faisceau lors de sa déviation est situé à 30 cm du centre de la surface de l'écran. Tracer la courbe de l'angle de déviation en fonction du temps, permettant d'avoir sur l'écran une déviation linéaire proportionnelle au temps.

- 2. En prenant comme exemple le bloc de déviation « X » mentionné au paragraphe A-3, calculer les tensions et les puissances mises en jeu dans balayage à 625 lignes et 50 trames par seconde.

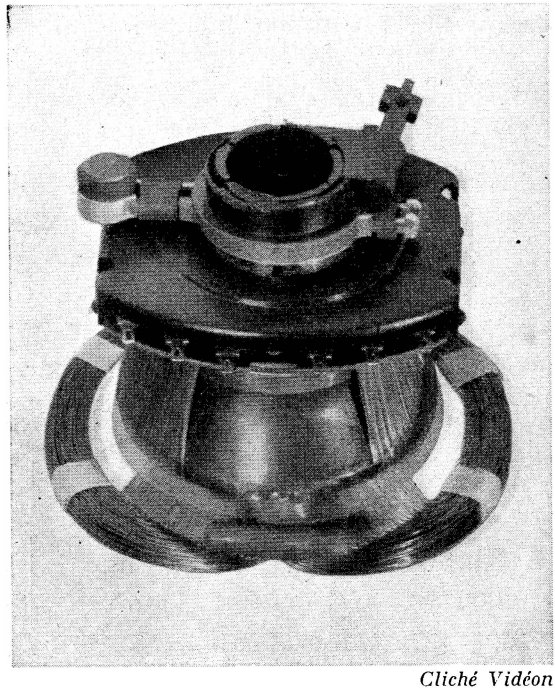
- 3. Un circuit comprend une bobine L, que l'on considérera en série avec sa résistance ohmique R. Un générateur de tension de résistance interne nulle crée une f. é. m. variable en fonction du temps. On s'intéresse au *courant* traversant la bobine. Quelle est la bande passante du circuit, pour le *courant* considéré?

  Établir la relation entre cette bande passante et la constante de temps du circuit.

  On remplace le circuit L, R par un circuit C, R, et on s'intéresse à la *tension* aux bornes du condensateur. Mêmes questions.

- 4. Le chapitre V signale les relaxateurs employés en télévision. Citer d'autres relaxateurs et donner les schémas.

◇



Cliché Vidéon

Bloc déflecteur.

VI. — GÉNÉRATEURS DE COURANT EN DENTS DE SCIE

A. — Courant en dents de scie dans une bobine sans résistance

1 — LA CHARGE D'UNE BOBINE SOUS TENSION CONSTANTE DONNE UN COURANT CROISSANT LINÉAIRement.

Considérons le schéma de la figure 1. Fermons l'interrupteur à l'instant $t = 0$, et étudions la variation du courant i dans la bobine.

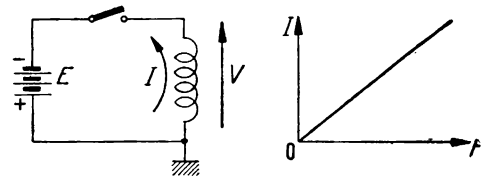


FIG. 1.

Obtention d'un courant à croissance linéaire dans une bobine.

Lorsqu'une tension E est appliquée à une bobine de résistance R et d'inductance L, on a :

$$Ri + L\frac{di}{dt} = E.$$

Ici, Ri est très inférieur à $L\frac{di}{dt}$; il reste alors :

$$L\frac{di}{dt} = E$$

$$di = \frac{E}{L}dt.$$

En intégrant :

$$i = \frac{E}{L}t + I_0 \qquad (1)$$

I_0 est une constante d'intégration, que l'on évalue en considérant une valeur particulière de i. Ainsi, à l'instant $t = 0$, on a, bien entendu, $i = 0$, puisque le courant ne s'établit que progressivement (propriété des bobines). Ceci s'écrit, en faisant $t = 0$ dans l'équation (1) :

$$i(0) = 0 = I_0.$$

Donc, $I_0 = 0$, et le courant dans la bobine est :

$$i = \frac{E}{L}t. \qquad (2)$$

Le courant croit linéairement (fig. 1).

APPLICATION NUMÉRIQUE : *Quelle est la f. é. m. de la source nécessaire pour atteindre, en* 41,5 μs, *un courant de* 1,2 A *dans une bobine de* 10 mH?

On a :

$$1{,}2 = \frac{E}{10^{-2}} \times 41{,}5 \times 10^{-6}$$

$$E = \frac{1{,}2 \cdot 10^{-2}}{41{,}5 \cdot 10^{-6}} = 290 \text{ V } (^1).$$

2 — L'OUVERTURE DE L'INTERRUPTEUR N'ANNULE PAS LE COURANT INSTANTANÉMENT.

Lorsque le courant a atteint un maximum nécessaire pour que le spot du tube cathodique parvienne au bord droit de l'écran, on doit couper ce courant. Mais c'est alors qu'apparaît la « surtension de rupture », due à ce que les bobines s'opposent aux variations de courant. Autrement dit, la bobine tend à prolonger le courant.

Comme ce courant doit se refermer par un circuit quelconque, il se produit une étincelle franchissant l'interrupteur ouvert. Mais nous avons négligé un élément du circuit : *la capacité parasite* C entre les deux extrémités de la bobine. Il est évident (fig. 2) que le courant I peut trouver un chemin dans ce circuit, sans aller franchir l'interrupteur par étincelle.

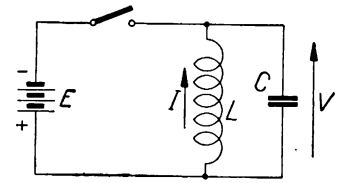


FIG. 2.
Circuit réel, comprenant la capacité parasite C.

La capacité parasite joue un rôle essentiel. Précisons ces phénomènes.

3 — COMPORTEMENT DE LA BOBINE AVEC SA CAPACITÉ PARASITE.

a) *On ferme l'interrupteur.* Brutalement, on obtient :

$$V = -E.$$

Le condensateur C se charge instantanément, car les fils ont une résistance négligeable. De plus :

$$V = -E = -L\frac{di}{dt};$$

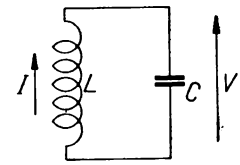


FIG. 3. — *Circuit de la figure 2 lorsque l'interrupteur est ouvert.*

(1) Cette valeur a été déjà trouvée au chapitre « Généralités sur les balayages ».

d'où, d'après l'équation (2) :

$$i = \frac{E}{L} t.$$

b) *On ouvre l'interrupteur* à l'instant $t = t_1$. Le circuit est alors celui de la figure 3. dans lequel il passe, à l'instant t_1, un courant :

$$I_1 = \frac{E}{L} t_1.$$

A partir de t_1, on a affaire à un circuit oscillant. L'allure de i prend donc l'aspect de la figure 4 *a* que nous allons préciser.

Reprenons comme origine du temps l'instant t_1 d'ouverture de l'interrupteur. Si ω est la pulsation propre du circuit oscillant, la variation de v peut s'écrire :

$$v = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

A et φ sont des constantes qui restent à déterminer. Or, aux bornes du condensateur, on a :

$$i = C \frac{dv}{dt},$$

ce qui permet d'écrire l'expression de i en dérivant celle de v :

$$i = CA\omega \cos(\omega + \varphi) \quad (4)$$

Pour évaluer les constantes A et φ, il suffit de considérer des

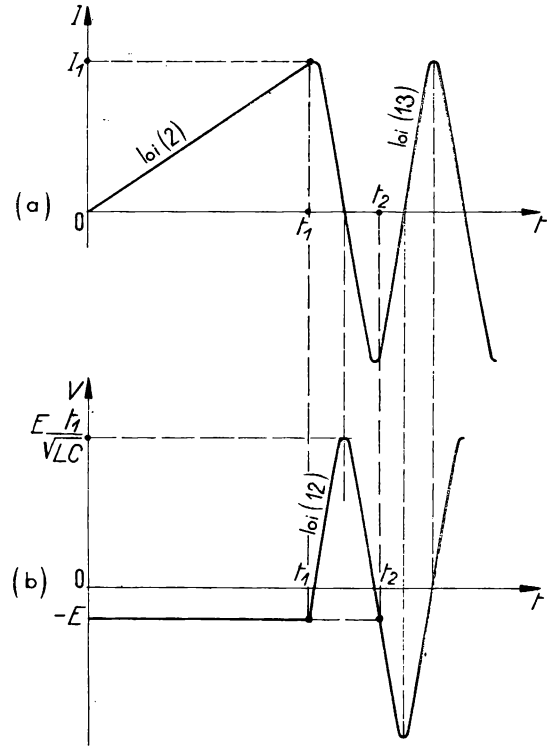


FIG. 4.

Variation du courant et de la tension pour la bobine quand on manœuvre l'interrupteur.

valeurs particulières et connues, de v et de i : lorsque l'on ouvre l'interrupteur (instant t_1), $t = 0$ dans les expressions (3) et (4) et l'on a $v = -E$ et $i = I_1$; soit, en faisant $t = 0$ dans les expressions de v et i :

$$v = -E = A \sin \varphi$$
$$i = I_1 = CA\omega \cos \varphi.$$

D'où l'on tire :

$$\sin \varphi = -\frac{E}{A} \tag{5}$$

$$\cos \varphi = \frac{I_1}{CA\omega}. \tag{6}$$

En élevant au carré et en additionnant, on obtient :

$$A = \sqrt{E^2 + \frac{I_1^2}{C^2\omega^2}},$$

ce que l'on peut écrire, en remplaçant I_1 et ω par leurs valeurs en fonction des éléments du circuit.

$$A = E\sqrt{1 + \frac{t_1^2}{LC}} \tag{7}$$

A est l'amplitude de v.

L'amplitude de i est, bien entendu, d'après (4) : $CA\omega$, soit :

$$CA\omega = \sqrt{E^2C^2\omega^2 + I_1^2} = I_1\sqrt{1 + \frac{LC}{t_1^2}}, \tag{8}$$

Les relations (5) et (6) donnent, par division membre à membre :

$$\operatorname{tg}\varphi = -\frac{EC\omega}{I_1} = -\frac{EC\omega L}{Et_1} = -\frac{\sqrt{LC}}{t_1}. \tag{9}$$

REMARQUE IMPORTANTE — La capacité parasite étant, bien entendu, toujours relativement faible, la période propre $2\pi\sqrt{LC}$ du circuit oscillant est toujours très courte par rapport au temps t_1. Dès lors, $\frac{\sqrt{LC}}{t_1}$ est très petite, et φ est voisin de zéro.

Pour la même raison, on peut négliger, dans l'expression (7), 1 par rapport à $\frac{t_1^2}{LC}$, ce qui donne :

$$A = E\frac{t_1}{\sqrt{LC}}. \tag{10}$$

Dans l'expression (8), on négligera $\frac{LC}{t_1^2}$ devant 1 :

$$AC\omega = I_1. \tag{11}$$

En définitive, il nous reste simplement, en combinant (3) et (10) d'une part, et (4) et (11) d'autre part, et en faisant $\varphi = 0$:

$$V = \frac{Et_1}{\sqrt{LC}} \sin \omega t ; \tag{12}$$

$$I = I_1 \cos \omega t. \tag{13}$$

La figure 4 représente ces courbes, dans lesquelles on ne manquera pas de remarquer que $\frac{Et_1}{\sqrt{LC}}$, amplitude de V, est *très supérieure* à E C'est la « surtension de rupture ».

En réalité les oscillations sont amorties car le circuit présente une certaine résistance. Mais elles sont de toute façon indésirables.

c) *On referme l'interrupteur* à l'instant t_2.

On voit, sur la figure 4, qu'à cet instant, on a :

$$i = - I_1$$

$$v = - E$$

L'interrupteur fermé nous redonne le circuit initial. La capacité parasite C est de nouveau chargée à — E, et la bobine est branchée sur une source de tension constante — E. Il vient, comme au *a*) :

$$v = - L \frac{di}{dt} = - E.$$

En intégrant :

$$i = \frac{E}{L} t + I'_0. \tag{14}$$

I'_0 est une constante à déterminer, qui était nulle dans le cas du *a*). A l'instant t_2, $I = I_1$. Or cet instant correspond au temps zéro pour l'expression (14) (refermeture de l'interrupteur). On a :

$$i(t_2) = - I_1 = 0 + I'_0. \text{ D'où :}$$

$$I'_0 = - I_1 \text{ et :}$$

$$i = \frac{Et}{L} - I_1. \tag{15}$$

Le courant croit linéairement, mais en partant de — I_1 (figure 5 *a*). La figure 5 *b* représente la variation de *v*.

d) *A l'instant* t_3, le courant s'annule. L'interrupteur restant fermé, on est revenu à l'état initial du circuit pour $t = 0$, puisque $i = 0$ et $v = -E$. Les phénomènes décrits recommencent.

Par la fermeture de l'interrupteur en t_2, *les oscillations ont disparu.*

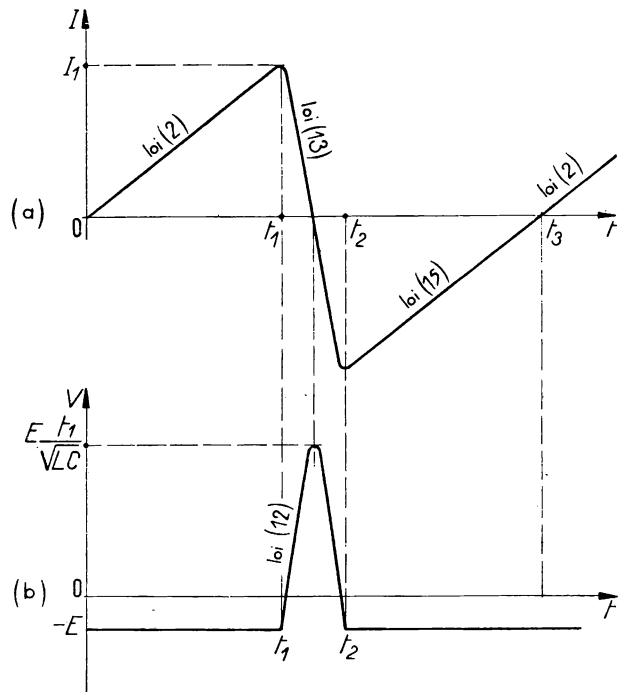


FIG. 5. — *Lois de variation quand on referme judicieusement l'interrupteur.*

4 — L'ÉNERGIE CONSOMMÉE ENTRE 0 ET t_3 EST NULLE (fig. 5 a).

Pendant la période de 0 à t_1, la bobine emmagasine une énergie qui est, à chaque instant : $W = \frac{1}{2}Li^2$. A l'instant t_1, elle contient une énergie $W_1 = \frac{1}{2}LI_1^2$.

Entre t_1 et t_2, il y a oscillation de l'énergie entre la bobine et le condensateur. Mais en t_2, toute l'énergie est de nouveau dans la bobine, puisqu'elle vaut :

$$W_2 = \frac{1}{2}L(-I_1)^2 = \frac{1}{2}LI_1^2.$$

Entre t_2 et t_3, le courant qui passe dans la bobine est négatif. Il asse donc dans le circuit un courant dont le sens réel est indiqué figure 6. Ce courant recharge la batterie d'alimentation.

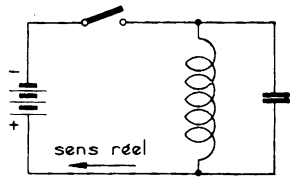


FIG. 6. — *Sens réel du courant entre t_2 et t_3.*

A l'instant t_3, on a de nouveau $i = 0$. La bobine ne contient plus d'énergie. Celle qu'elle contenait, W_1 ou W_2, a donc *rechargé la source*. Celle-ci, entre les instants t_2 et t_3, a **récupéré** ce qu'elle avait fourni entre 0 et t_1.

C'est un montage à récupération de courant.

La figure 7 représente quelques périodes des courants et tensions obtenus par ce procédé.

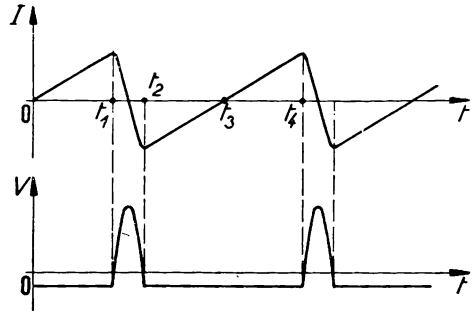


FIG. 7. — *Variation du courant et de la tension, par manœuvre périodique de l'interrupteur.*

REMARQUES — 1. *La variation de courant, c'est-à-dire l'amplitude de la dent de scie, est égale à* $2\ I_1$.

2. *Le retour dure* $\frac{1}{2}$ *période propre du circuit bobine-capacité parasite.*

3. Le circuit réel comportant des résistances (bobine, fils, etc.), l'énergie fournie à la bobine ne peut être entièrement récupérée. La durée $t_3 - t_2$ (fig. 7) est donc inférieure à la durée $t_4 - t_3$.

5 — L'INTERRUPTEUR EST RÉALISÉ A L'AIDE DE DEUX TUBES ÉLECTRONIQUES SPÉCIAUX.

La commande de l'interrupteur est évidemment électronique à cause de la rapidité des phénomènes (20 kHz). Le tube T (fig. 8) doit donc être capable de laisser passer le courant maximum I_1.

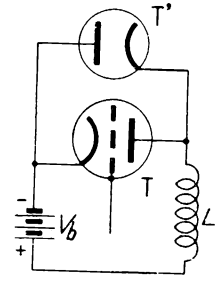


FIG. 8. — *Remplacement de l'interrupteur par des tubes électroniques.* ⟶

L'interruption du courant anodique sera obtenue par une tension suffisamment négative appliquée sur la grille. Comme à cet instant, la surtension apparaît sur l'anode du tube, *ce tube doit avoir une anode isolée à plusieurs milliers de volts.*

Pendant la période t_2 à t_3, le tube T ne peut convenir, car le courant fourni par la bobine est de *sens opposé.* On shunte le tube T par *une diode T' branchée en sens inverse.* Cette diode doit pouvoir laisser passer un courant tel que I_1. Elle doit aussi tenir plusieurs milliers de volts, car elle est bloquée au moment de la surtension.

La tension de grille du tube interrupteur T doit :

— rendre le tube parfaitement conducteur entre les instants 0 et t_1, soit $Vg = 0$,

— bloquer le tube entre t_1 et t_3, soit $Vg < V_{blocage}$.

La forme de l'onde n'a pas grande importance. Il suffit qu'elle franchisse le blocage aux instants convenables (fig. 9).

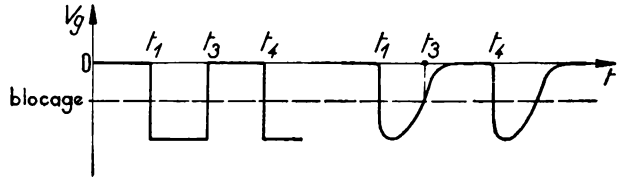


FIG. 9. — *Formes possibles d'onde de grille du tube T.*

B. — L'étage de sortie du balayage horizontal (lignes)

1 — LE TUBE-INTERRUPTEUR EST UNE PENTODE SPÉCIALE.

Les conditions de fonctionnement doivent être les suivantes :

a) *Tension d'isolement d'anode très élevée* (quelques kilovolts). L'anode est connectée à une borne située au sommet de l'ampoule (fig. 10) ;

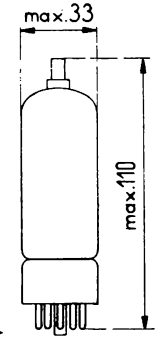


FIG. 10. — *Cotes du tube EL 36.* ——————→

b) *Bon interrupteur, donc faible chute de tension.* Le courant d'anode varie de zéro à une valeur relativement importante (fin de la dent de scie). Une triode ne convient pas, car sa tension de déchet est trop grande. Dans le cas d'une pentode construite pour que le coude des caractéristiques (figure 11) soit situé à 25 V seulement, pour un courant d'anode de 200 mA, la chute de tension va varier de 0 à 25 V pendant que le courant d'anode, dont la variation est commandée par la bobine située dans le circuit, va croître de 0 à 200 mA. Pendant cette période de conduction, on maintient $V_g \simeq 0$ (tube le plus conducteur possible). Le point de fonctionnement parcourt la branche ascendante de la caractéristique $V_g = O$. La résistance interne correspondante est :

$$\frac{\Delta V_a}{\Delta I_a} = \frac{25}{0{,}2} = 125\,\Omega.$$

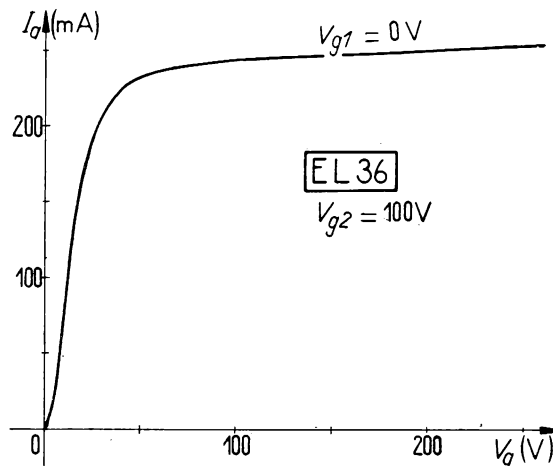


FIG. 11. — *Caractéristiques* $V_g = 0$ *pour une tension fixe de* 100 V.

Elle est bien plus faible que celle des triodes de puissance courante (et des pentodes montées en triodes).

REMARQUE : La pentode présente, dans les autres régions des caractéristiques, une résistance interne normale pour une pentode de puissance (3 à 10 kΩ). Mais le point de fonctionnement ne s'y trouve jamais.

c) *Tension de blocage.* Dans une pentode, elle dépend presque uniquement de la tension d'écran. Ici, l'anode atteint des potentiels considérables et ce n'est pas tout-à-fait vrai. Mais on peut tout de même arriver à couper le courant d'anode en appliquant — 150 V environ sur la 1re grille, bien que le potentiel d'anode soit de quelque 5 kV.

d) *L'écran du tube doit pouvoir dissiper une puissance relativement importante.* Au début de la conduction du tube, le courant d'anode, dont la croissance est imposée par la bobine de déviation, est très faible. Or, $V_g = 0$, ce qui entraîne un fort courant cathodique. La plus grande partie de ce courant s'écoule par l'écran qui, porté à un potentiel constant de l'ordre de 150 V, dissipe alors une puissance de 3 à 4 watts. Il doit être construit spécialement pour ne pas rougir ou fondre. De plus, on place en série dans le branchement de l'écran, une résistance limitant le courant.

EXEMPLE : Le tube E L 36 réunit les exigences ci-dessus. Ses caractéristiques limites sont :

Tension de crête positive d'anode.... (pendant 18 µs au maximum)	7 kV max.
Courant cathodique moyen	200 mA max.
Courant anodique de crête (tube neuf) avec $V_{g2} = 170$ V.....	500 mA
Puissance dissipée sur l'anode (P_a) ..	10 W max.
Puissance dissipée sur l'écran (P_{g2}) ...	5 W max.
$P_a + P_{g2}$	13 W max.

2 — UN TRANSFORMATEUR DE SORTIE EST INDISPENSABLE.

Nous avons vu que le courant exigé par les bobines de déviation est de l'ordre de 1,2 A crête à crête. A cause des pertes, le courant fourni par le tube pentode doit pouvoir atteindre plus de la moitié, par exemple 0,75 A (fig. 12). Ce courant ne peut être fourni par un tube du type décrit ci-dessus (EL 36)

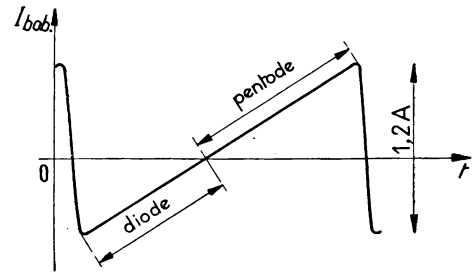


FIG. 12. — *Décomposition idéale du courant dans la bobine.*

qu'avec un transformateur d'adaptation de rapport 2,5 puisque le courant anodique du coude pour ce tube (figure 13) est de 300 mA, lorsque l'écran est protégé par une résistance.

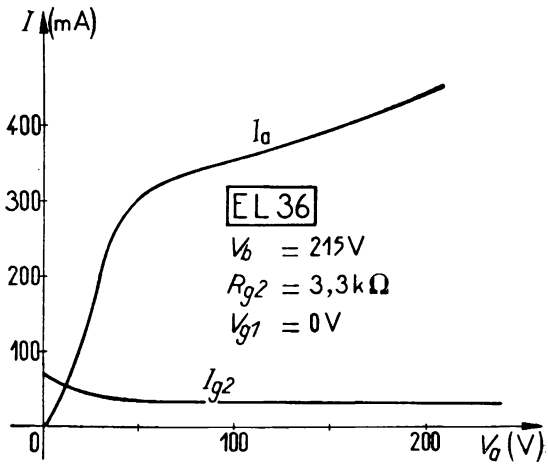


FIG. 13. — *Caractéristique $V_g = 0$ pour une tension d'écran obtenue par résistance de protection.*

On emploie, en pratique, et par économie, un autotransformateur. Cet autotransformateur est abaisseur de tension (ou élévateur de courant).

3 — LA TENSION D'ALIMENTATION DU MONTAGE DOIT ÊTRE ASSEZ ÉLEVÉE.

Nous avons déjà calculé que la différence de potentiel aux bornes des bobines doit être de l'ordre de 300 volts pour que le courant atteigne son maximum dans le délai voulu de 41,5 µs. Pour disposer de 300 V au secondaire du transformateur de rapport 2,5 par exemple, on doit fournir 750 V au primaire, côté pentode.

La pentode étant un interrupteur provoquant une chute de tension de 25 à 50 volts, il faut prévoir une tension d'alimentation d'au moins 800 V. Une telle alimentation n'est pas de type courant en radiotechnique, la plupart des tubes fonctionnant correctement avec des sources de 150 à 250 V au maximum. En particulier, le reste du récepteur de télévison sera alimenté par un redresseur donnant 200 à 220 V.

4 — MONTAGE « RÉCUPÉRATEUR DE TENSION ».

Dans le montage récupérateur de courant, la présence de la diode de récupération avait pour but de laisser passer le courant dû à la décharge de la bobine. Pendant la conduction de la diode, la bobine de déviation se trouvait branchée sur la source de tension constante.

On peut remplacer cette source par un condensateur de valeur suffisante, de manière que pendant la durée d'une ligne (49 µs), la tension entre ses bornes ne varie pas.

Le montage (sans transformateur) prend alors l'aspect de la figure 14 Il est nécessaire, bien entendu, que le remplacement de la source V_b par le condensateur C ne modifie pas le fonctionnement. Il faut donc que C présente déjà entre ses armatures une différence de potentiel égale à V_b. Or, le courant même fourni par la bobine à travers la diode charge ce condensateur, puisqu'il est obligé de la traverser. On trouve donc aux bornes de C une différence de potentiel égale à la f. c. é. m. que l'on trouvait aux bornes de la bobine, c'est-à-dire V_b.

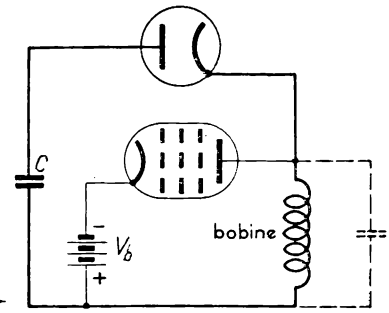


FIG. 14. — *Emploi d'un condensateur récupérateur de tension.* ⟶

L'énergie récupérée dans ces conditions a chargé le condensateur au lieu de recharger la batterie V_b.

Pour utiliser cette énergie récupérée, on branche le condensateur en série avec la source d'alimentation. Le montage se présente alors sous l'aspect de la figure 15. On y remarque que la pentode est alimentée par une source de valeur 2 V_b. Le condensateur, chargé par la diode avec le courant que la bobine a restitué, se décharge l'instant d'après en contribuant au courant anodique de la pentode. C'est le montage « *récupérateur de tension* ».

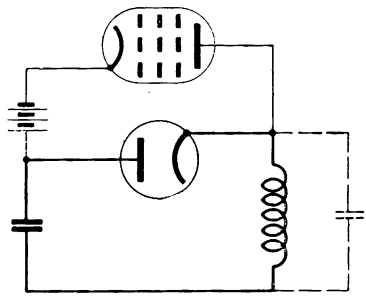


FIG. 15. — *Montage en série de la tension récupérée.* ⟵

5 — LA RÉCUPÉRATION FOURNIT LA TENSION D'ALIMENTATION DÉSIRÉE.

Reprenons le montage de la figure 15 et adjoignons-lui le transformateur d'adaptation. On voit que, (fig. 16), en conservant le branchement de la diode et du condensateur C aux bornes de la bobine

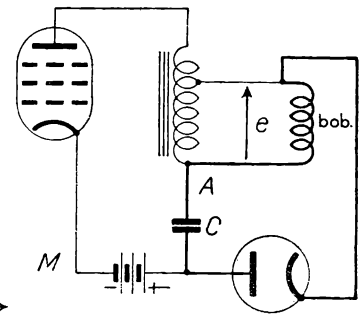


FIG. 16. — *Récupération de tension par transformateur.* ⟶

(circuit en trait fort), la tension d'alimentation de la pentode est $V_b + e$ (e étant la tension aux bornes de la bobine).

On peut évidemment charger le condensateur à une tension plus élevée que e, à l'aide d'un transformateur. La tension est alors celle que l'on désire. *Elle peut, en particulier, atteindre les* 800 V *mentionnés plus haut.*

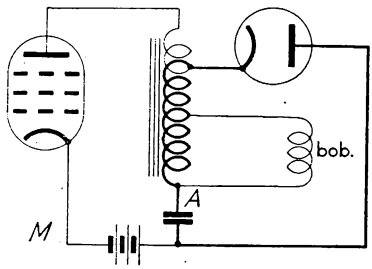


FIG. 17. — *Récupération d'une tension plus élevée grâce au transformateur.*

REMARQUE — Les deux transformateurs peuvent être combinés en un seul (fig. 17). Ce schéma est celui que l'on rencontre dans tous les téléviseurs. *La tension aux bornes du condensateur est la* **« tension récupérée ».**

Cette tension, augmentée de V_g, *est appelée usuellement* **haute tension « gonflée ».**

6 — LA DIODE DE RÉCUPÉRATION DOIT ÊTRE DE FORTE PUISSANCE, ET TRÈS BIEN ISOLÉE.

Elle va laisser passer, en effet, un courant de l'ordre de celui qui passe dans la pentode, soit quelques dizièmes d'ampère.

De plus, lors de la coupure du courant dans la pentode, la cathode de la diode est portée aussi à quelques kilovolts. C'est pourquoi les tubes prévus pour cet usage ont la sortie de cathode au sommet de l'ampoule (fig. 18). Leur volume est celui d'une valve de redressement.

EXEMPLES : Caractéristiques du tube E Y 88.

Pervéance	2,4 mA/V$^{3/2}$
Courant d'anode moyen.	150 mA max.
Courant d'anode de crête.	450 mA (pendant 18 µs max.)
Tension de crête filament-cathode	4,5 kV (»)
Tension de crête anode-cathode	4,5 kV (»)

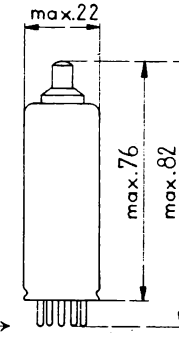


FIG. 18. — *Cotes de la diode de récupération E Y 88.* →

7 — LA TENSION DE COMMANDE DE LA PENTODE EST OBTENUE A PARTIR D'UN TUBE INTERRUPTEUR.

Il est commode de la réaliser à l'aide du circuit de la figure 19. Le circuit R'C est appelé *peaking*. La constante de temps de la charge du condensateur sur la source V_b est :

$$(R + R')C$$

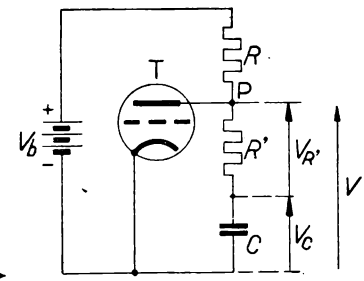


FIG. 19. — *Circuits de mise en forme pour commande de la pentode.* ⟶

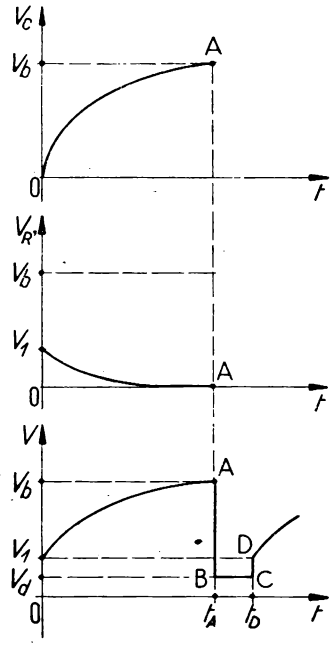


FIG. 20. — *Fonctionnement du circuit de la figure 19. De haut en bas : a, b, c.*

Lorsque le tube interrupteur T est bloqué, le condensateur C se charge. La tension V_c aux bornes du condensateur a l'allure de la figure 20 *a* (portion OA). La tension $V_{R'}$ aux bornes de R' est proportionnelle au courant de charge du condensateur. Elle est représentée figure 20 *b* (on remarque que $V_1 < V_b$ à cause de la présence de R). La tension V, somme de V_c et $V_{R'}$ placées en série, est représentée par la figure 20 *c*.

A l'instant t_A, le tube T conduit (c'est l'un des tubes interrupteurs auto-commandés des montages relaxateurs déjà mentionnés). La tension V tombe alors au déchet V_d (fig. 20 *c*) et y reste pendant que T conduit (période BC).

A l'instant t_D, le tube T se bloque. Le condensateur C recommence à se charger, et l'on retrouve la courbe exponentielle.

Cette forme d'onde est entièrement positive par rapport à la masse (potentiel zéro). Il suffit de relier le point P (figure 19) à la grille du tube pentode interrupteur de puissance par un condensateur pour que la tension V aligne ses crêtes positives sur le potentiel de cathode de ce dernier tube (1).

REMARQUE — Compte tenu des capacités parasites et de l'imperfection du tube interrupteur, l'onde présente au point P n'a pas l'allure anguleuse de la figure 20, mais celle de la figure 21.

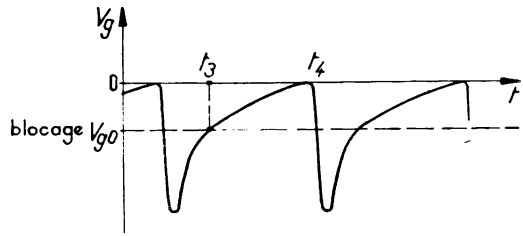


FIG. 21.

Véritable forme de l'onde obtenue sur la grille de la pentode de puissance.

Pour que le fonctionnement de la récupération soit correct, il faut que le tube pentode commence à conduire (instant t_3) juste quand l'énergie contenue dans la bobine est épuisée et que le courant dans la diode de récupération s'est annulé. *Cela nécessite un réglage précis de l'instant* t_3. Ce réglage est obtenu par variation de la résistance R', c'est-à-dire de la grandeur de la tension $V_{L'}$. La figure 22 montre l'effet du réglage.

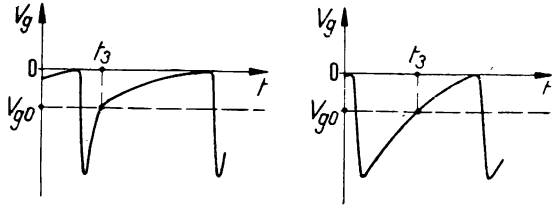


FIG. 22. — *Effet de la variation de R' :*

A gauche, R' forte : t_3 avancé.

←A droite, R' faible : t_3 retardé.

(1) Compléments sur le balayage horizontal, chapitre suivant.

8 — LE BALAYAGE HORIZONTAL FOURNIT LA TRÈS HAUTE TENSION D'ALIMENTATION DU TUBE CATHODIQUE.

Lors de la coupure (t_1 sur toutes les figures), nous avons vu qu'il se produisait une importante surtension de quelques milliers de volts. Cette tension est présente entre l'anode du tube pentode interrupteur et le $+ V_b$ (ou la masse, ce qui donne V_b en plus). On peut, en prolongeant l'enroulement de l'autotransformateur d'adaptation (fig. 23), obtenir les 15 à 18 kV nécessaires pour alimenter la dernière anode du tube cathodique. Ces impulsions chargent, à travers une diode spéciale D, la capacité de « filtrage » Γ constituée par l'anode du tube cathodique et sa métallisation extérieure. La diode empêche cette capacité de se décharger dans le transformateur entre deux impulsions de coupure. On dispose donc en K d'une tension constante de 15 à 18 kV.

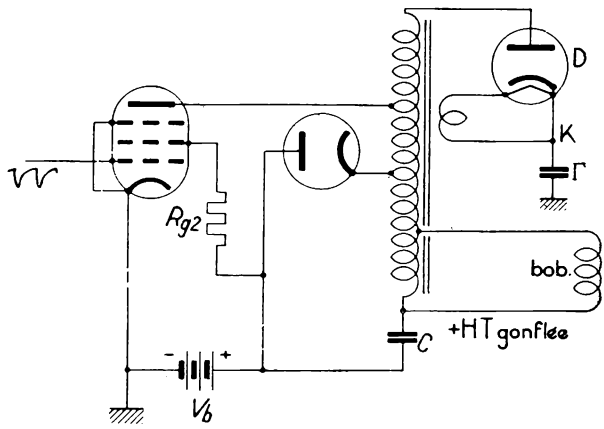


FIG. 23. — *Étage de sortie du balayage horizontal et très haute tension.*

La diode D doit tenir une tension inverse de 15 à 18 kV. De plus, sa cathode étant portée en permanence à cette tension très élevée, un problème se pose pour le chauffage. Il est résolu en alimentant le filament grâce à deux spires de fil très bien isolé enroulées sur le transformateur d'adaptation. Le filament est ainsi très bien isolé de la masse, et chauffé par un courant en impulsions dont la valeur efficace seule intervient.

9 — CONCLUSION.

Le montage récupérateur de tension en télévision est, comme on le voit, particulièrement remarquable. Outre les avantages décrits jusqu'ici, il permet aussi de disposer de la haute tension « gonflée» (600 à 800 V) pouvant alimenter d'autres circuits à faible consommation du récepteur (électrodes intermédiaires du tube cathodique, et même amplificateur de sortie du balayage vertical). Ce montage est un « transformateur à courant continu », élevant la haute tension disponible (220 V) de plusieurs fois sa valeur.

C. — Compléments sur le balayage horizontal (lignes)

1 — LE TUBE PENTODE EST AUTOPOLARISÉ PAR LE COURANT DE GRILLE.

Les signaux de commande (fig. 21) sont appliqués sur la grille, *le tube n'étant pas polarisé.* L'espace grille-cathode joue le rôle d'une diode, *qui aligne les sommets des dents sur le potentiel de la cathode.* Par suite, les signaux sont entièrement négatifs, et leur moyenne est de l'ordre de — 50 V, lorsque leur amplitude est de — 150 V. Il n'est pas nécessaire de polariser la grille autrement.

Par sécurité, on ajoute quelquefois une résistance cathodique de 10 à 20 Ω, protégeant le tube si les signaux de commande disparaissent fortuitement.

2 — LE RACCORDEMENT DIODE-PENTODE EST PROGRESSIF.

Reprenons la figure 12. Le raccordement entre la courbe du courant récupéré par la diode et celle du courant fourni par la pentode semble exiger une précision assez grande, puisqu'il faut que les deux demi-droites soient alignées.

En pratique, la variation des courants n'est pas aussi linéaire, car chaque tube présente une résistance interne appréciable et variable. Les courants de diode et de pentode varient en réalité comme le montre la figure 24. I_p est le courant fourni par la pentode, I_d le courant récupéré par la diode, et I_{bob} la somme algébrique parcourant la bobine de déviation. *Il suffit que cette somme algébrique soit linéaire.*

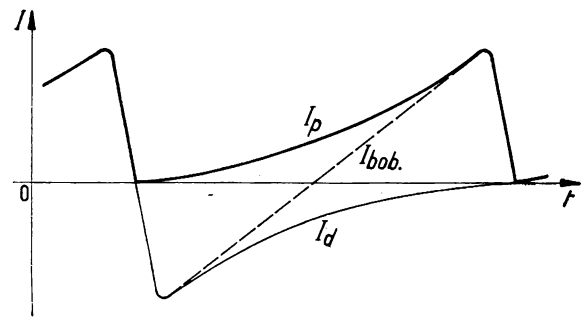


FIG. 24. — *Courants réels de pentode et de diode.*

Remarquer que le raccordement est alors progressif, donc beaucoup moins délicat.

Dans ces conditions, le courant dans la pentode doit croître très progressivement au début de sa conduction, ce qui est pratiquement assuré par les signaux de commande dont nous avons déjà parlé, ceux-

ci faisant croître la tension de grille progressivement depuis le blocage jusqu'au potentiel zéro.

3 — LA LINÉARITÉ DU BALAYAGE DÉPEND DE LA RÉSISTANCE INTERNE DES TUBES.

Lorsque la pentode ou la diode ont une résistance interne trop grande, la variation du courant est évidemment exponentielle, comme dans tout circuit comprenant une bobine et une résistance. Pour s'approcher de la linéarité la meilleure, il est indispensable de faire fonctionner les tubes avec une résistance interne la plus faible possible.

Pour la diode, il suffit de bien la choisir.

Pour la pentode, il faut que la tension de grille-écran soit suffisamment élevée, et que le circuit de cette grille ne comprenne pas une résistance limitatrice de courant trop élevée. Il est donc recommandé de travailler avec une haute tension d'alimentation juste suffisante pour l'amplitude de balayage voulue, car la réduction du balayage par diminution de la tension d'écran entraîne une augmentation de la résistance interne de la pentode, et une distorsion appréciable (tassement de la partie droite de l'image, le courant anodique de la pentode plafonnant après le coude de la caractéristique $Vg = 0$).

4 — LE RÉGLAGE DE L'AMPLITUDE EST OBTENU PAR DES BOBINES PLACÉES EN PARALLÈLE ET EN SÉRIE SUR LA BOBINE DE DÉVIATION.

On ne peut régler l'amplitude que par une variation de la haute tension d'alimentation, ce qui est peu pratique. On introduit plutôt en parallèle et en série, de petites bobines à noyau réglable, agissant en quelque sorte comme rhéostats (fig. 28).

5 — LA LINÉARITÉ DES DENTS DE SCIE DU COURANT N'ENTRAINE PAS FORCÉMENT UNE VITESSE CONSTANTE DU SPOT SUR L'ÉCRAN.

Il faut en effet avec les tubes modernes dits à fond « plat », tenir compte de ce que l'écran du tube cathodique n'est pas une sphère dont le centre serait le point de déviation des électrons (fig. 25). La

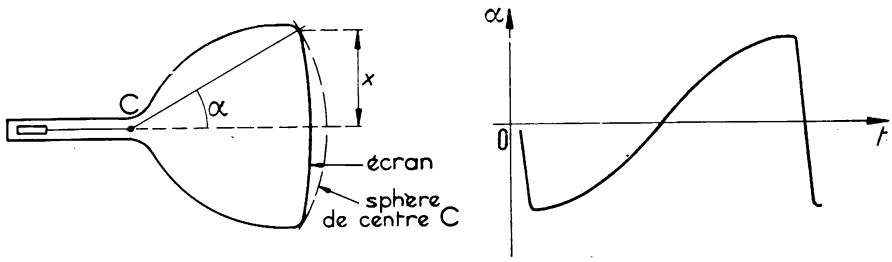


FIG. 25. — *Balayage linéaire des tubes à fond « plat ».*

déviation angulaire doit alors se faire suivant une loi en S, pour que la déviation x sur l'écran soit proportionnelle au temps.

Seule compte évidemment la linéarité de la déviation sur l'écran.

6 — CETTE LINÉARITÉ PEUT ÊTRE AMÉLIORÉE PAR DES CIRCUITS SPÉCIAUX.

Nous ne citerons que pour mémoire l'introduction de circuits oscillants en série avec la diode de récupération, et l'emploi de bobines comme celles de la figure 28, munies d'un noyau plus ou moins *saturé* par un aimant.

La distorsion d'un montage classique peut atteindre 7 %, alors qu'avec ces circuits de correction, elle peut être réduite à 1 %.

7 — LES INDUCTANCES DE FUITE DU TRANSFORMATEUR DE SORTIE PRODUISENT DES OSCILLATIONS PARASITES.

Le transformateur de sortie fonctionne, bien entendu, comme un transformateur à fer de type classique, dont on connaît le schéma équivalent. Les circuits résonnants formés par les inductances de fuite et les capacités parasites sont excités à chaque fin de ligne par l'impulsion de coupure. Ils provoquent des oscillations amorties se superposant au courant de balayage (fig. 26). La vitesse du spot est ainsi « modulée » au début du balayage. Cela explique les rayures verticales sombres et claires visibles dans tous les récepteurs sur le bord gauche de l'image.

FIG. 26. — *Oscillations parasites du transformateur de sortie.*

Dans certains transformateurs, on utilise ces résonances pour accroître la très haute tension disponible, et augmenter le rendement de la récupération.

8 — LE CONDENSATEUR DE RÉCUPÉRATION PEUT ÊTRE UNE SOURCE DE DISTORSION.

Ce condensateur constitue en réalité la source d'alimentation de l'étage de puissance. Le courant qu'il débite est en dents de scie, et la tension entre ses bornes se présente sous la forme de courbes

intégrales des dents de scie, c'est-à-dire de *paraboles* (fig. 27). L'amplitude ΔV de ces paraboles dépend de la valeur C du condensateur, et du courant I qu'il débite.

$$\Delta V = \frac{I}{C}\Delta t$$

Remplaçons par les valeurs numériques courantes : I = 0,3 A (courant maximal de la pentode), Δt = 20 µs (durée de la variation de 0,3 A). En prenant C = 0,1 µF :

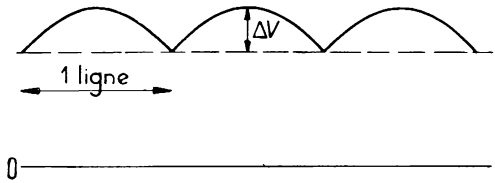


FIG. 27.
Variation de la tension d'alimentation (HT gonflée).

$$\Delta V = \frac{0{,}3 \times 20 \cdot 10^{-6}}{0{,}1 \cdot 10^{-6}} = 60\text{V}.$$

Ainsi la tension aux bornes du condensateur de récupération, qui avait été supposée constante dans l'exposé du fonctionnement de l'étage de puissance, varie ici de 60 V au cours de la durée d'une ligne, soit une variation d'environ 6 %.

REMARQUE — Un tel « ronflement » ne gène pas en pratique. Bien au contraire, il permet d'accélérer le balayage au centre de l'écran (période correspondant au sommet de la parabole).

La déviation angulaire du faisceau est ainsi distordue en forme de S, conformément à la figure 25.

9 — SCHÉMA COMPLET D'UN BALAYAGE HORIZONTAL (fig. 28).

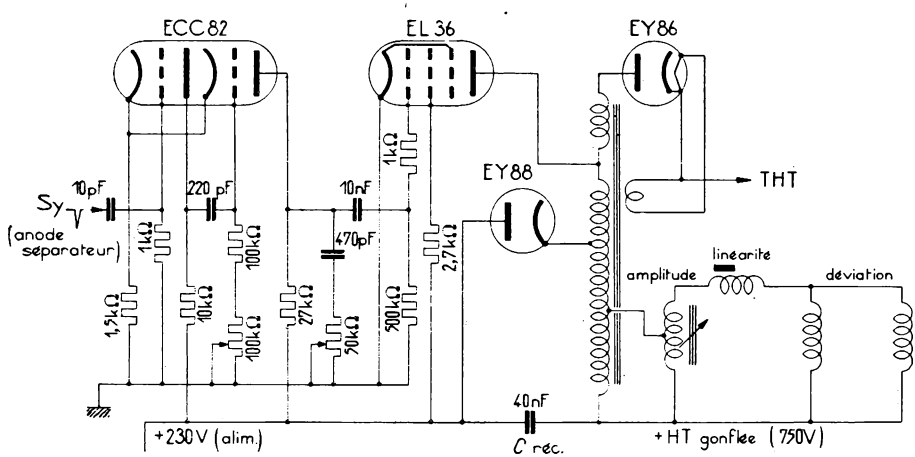


FIG. 28. — *Schéma complet d'un balayage horizontal.*

D. — L'étage de sortie du balayage vertical (trames)

1 — CET ÉTAGE EST, EN PRINCIPE, UN AMPLIFICATEUR EN CLASSE A.

Nous avons montré que la bobine de déviation verticale se comporte comme une résistance. Pour obtenir un courant en dents de scie, il suffit donc de brancher cette « résistance » en charge d'anode d'un tube.

En attaquant la grille de ce tube, monté en classe A, avec des dents de scie linéaires, le courant dans la charge d'anode sera en dents de scie linéaires, abstraction faite toutefois des distorsions que le tube et les autres pièces détachées pourront apporter.

2 — UN TRANSFORMATEUR DE SORTIE EST INDISPENSABLE.

Le courant qui circule dans les bobines de déviation est de quelques dixièmes d'ampère, voire de plus de un ampère. Mais la puissance requise par le balayage vertical est faible (p. 82). On va donc employer un tube de faible puissance, dont le courant d'anode ne peut atteindre, en crête, que quelques dizaines de milliampères. D'où la nécessité d'un transformateur « abaisseur » de rapport 10 environ. Le schéma de l'étage amplificateur sera donc établi sur le principe de la figure 29, dans laquelle le tube est une pentode ordinaire de petite puissance (quelques watts) pour basses fréquences.

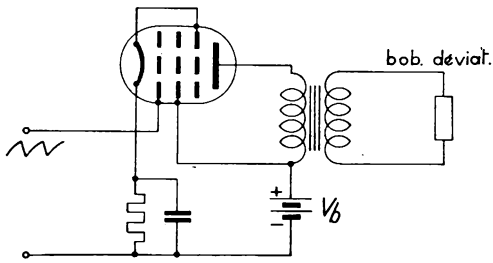


FIG. 29. — *Schéma de principe de l'amplificateur de sortie du balayage vertical.*

3 — LE TRANSFORMATEUR DE SORTIE EST OBLIGATOIREMENT MAUVAIS.

La figure 30 rappelle le schéma équivalent à un transformateur, ramené au primaire. Aux fréquences très basses qui interviennent ici, seule l'inductance L_p joue

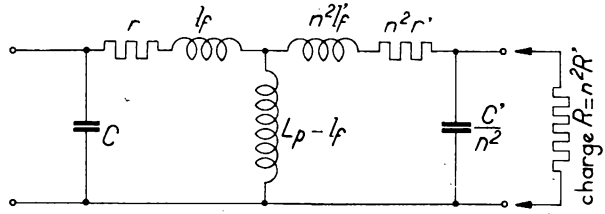


FIG. 30.
Schéma équivalent à un transformateur BF à fer.

un rôle, les autres éléments étant tous négligeables. Le schéma équivalent au transformateur prend alors l'aspect simplifié de la figure 31, dans laquelle R représente la charge du secondaire (bobine de déviation de résistance R_b) ramenée au primaire. Si l'on désigne par n_1 le nombre de spires du primaire, n_2 le nombre de spires du secondaire, on peut poser $n = \frac{n_1}{n_2}$; on a alors $R = n^2 R_b$.

Pour que, pendant l'aller, le courant dans R croisse linéairement, il faut que la constante de temps $\frac{L_p}{R}$ soit très supérieure à la durée de cet aller, donc très supérieure à 20 ms. En tolérant un écart de 10 % par rapport à la croissance linéaire du courant dans R, on pourra prendre :

$$\frac{L_p}{R} \geqslant 10 \times 20\,\text{ms}, \quad \text{soit } 0{,}2\,\text{s}.$$

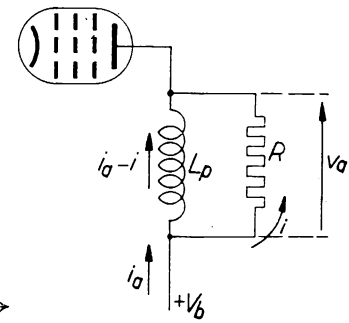


FIG. 31. — *Schéma équivalent simplifié en très basses fréquences.*

Or, R doit être la charge d'anode optimale du tube ; elle s'élève à quelques kiloohms. Prenons par exemple 5 kΩ ; on a :

$$\frac{L_p}{R} \geqslant 0{,}2$$
$$L_p \geqslant 0{,}2R = 0{,}2 \times 5\,000$$
$$L_p \geqslant 1\,000\text{H}.$$

Un transformateur doué d'une telle self primaire est monstrueux, sinon irréalisable. On peut difficilement dépasser 100 H. *Le transformateur sera donc toujours de mauvaise qualité.*

4 — LE COURANT D'ANODE COMPREND UNE COMPOSANTE PARABOLIQUE.

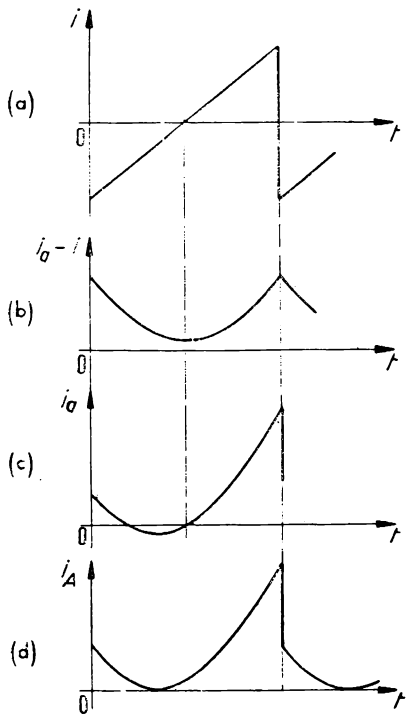
D'après la figure 31, le courant variable d'anode i_a doit comprendre le courant de déviation en dents de scie i, et le courant passant dans L_p. On peut écrire, aux bornes de R :

$$v_a = -Ri \qquad (1)$$

et aux bornes de L_p :

$$v_a = - L_p \frac{d(i_a - i)}{dt}. \qquad (2)$$

Puisque i est en dents de scie linéaires, la tension v_a est en dents de scie linéaires, d'après l'équation (1).



La tension v_a aux bornes de L_p a la forme de la dérivée du courant qui passe dans L_p. Ce courant a donc la forme de l'intégrale de v_a. L'intégrale d'une fonction linéaire (dent de scie) est une parabole. Le courant d'anode se décompose donc comme le montre la figure 32.

Pour obtenir un courant en dents de scie linéaires dans la bobine de déviation, il faut donc créer un courant d'anode de forme complexe (fig. 32 *c*). Le tube étant une pentode, il suffira, en première approximation, de l'attaquer par une tension de grille de cette forme.

FIG. 32.

Décomposition du courant anodique.

REMARQUE IMPORTANTE — i_a représente seulement la variation du courant d'anode ; le courant lui-même i_A est entièrement positif (fig. 32 *d*). On s'arrangera, en outre, pour que la valeur minimale i_{Amin} du courant d'anode soit pratiquement nulle.

5 — UN MAUVAIS TRANSFORMATEUR PERMET D'ÉCONOMISER LE COURANT.

Avec un transformateur idéal, le courant d'anode est lui-même en dents de scie linéaires (fig. 33). Si $i_{A\,min}$ est voisin de zéro, le courant moyen d'anode I_a est voisin de $\frac{i_{A\,max}}{2}$, c'est-à-dire de I, amplitude du courant dans la bobine de déviation.

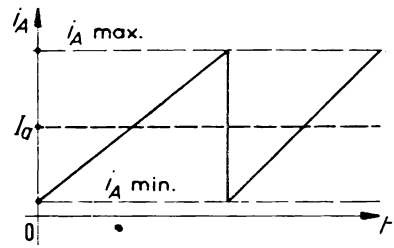


FIG. 33. — *Courant anodique avec un transformateur idéal.*

Il semble que, dans le cas d'un mauvais transformateur, et à cause de la forme du courant d'anode, (fig. 32 *d*), on puisse obtenir une moyenne I_a plus faible. Ceci est confirmé par un calcul simple, qui donne en même temps le « meilleur » transformateur à adopter.

6 — CALCUL DU COURANT MOYEN ET DU COURANT DE CRÊTE D'ANODE [1].

a) ***Calcul du courant moyen.***

Considérons (fig. 34) la variation i du courant dans la bobine de déviation. T représente la durée de l'aller. Nous avons choisi l'instant zéro au milieu, ce qui simplifie notablement l'écriture des calculs.

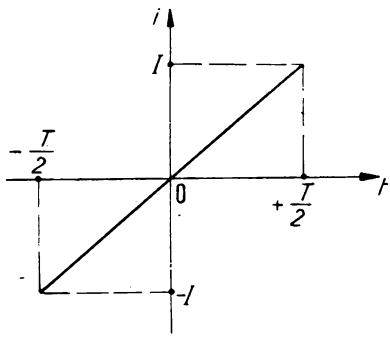


FIG. 34. — *Variation recherchée du courant dans la bobine de déviation.*

L'équation de la droite de la figure 34 est :

$$i = \frac{2I}{T}t. \qquad (3)$$

Le circuit à étudier (fig. 31) permet d'écrire, d'après les équations (1) et (2) du paragraphe 4 :

$$Ri = L_p \frac{d}{dt}(i_a - i). \qquad (4)$$

---

[1] Ce paragraphe n'est pas indispensable à la compréhension du texte qui le suit.

Soit, en groupant :

$$L_p \frac{di_a}{dt} = L_p \frac{di}{dt} + Ri$$

et, en divisant par L_p les deux membres :

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{di}{dt} + \frac{R}{L_p} i.$$

Posons $\frac{L_p}{R} = \theta$, constante de temps du circuit. Il vient :

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{di}{dt} + \frac{i}{\theta}.$$

Remplaçons i par sa valeur donnée par l'équation (3) :

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{2I}{T}t\right) + \frac{2I}{T\theta}t.$$

En effectuant la dérivation portant sur i:

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{2I}{T} + \frac{2I}{T\theta}t = \frac{2I}{T}\left(1 + \frac{t}{\theta}\right). \qquad (5)$$

Pour obtenir i_a, il faut intégrer les deux membres ; on obtient :

$$i_a = \frac{2I}{T}\left(t + \frac{t^2}{2\theta}\right) + C \qquad (6)$$

où C est une constante arbitraire que nous prendrons nulle, puisque i_a est la *variation* du courant d'anode.

L'équation (6) est celle d'une parabole (fig. 35 *a*). Les coordonnées du sommet sont données par $\frac{di_a}{dt} = 0$, c'est-à-dire (équation 5) :

$$\frac{2I}{T}\left(1 + \frac{t}{\theta}\right) = 0.$$

Cela se produit lorsque $t = -\theta$. La valeur de i_a est alors, en remplaçant t par $(-\theta)$ dans (6) :

$$i_{a\min} = -\frac{I\theta}{T}.$$

REMARQUE — A priori, la valeur $(-\theta)$ n'est pas forcément comprise entre 0 et $-\frac{T}{2}$, mais nous allons montrer plus loin que ce sera le cas en pratique.

Les coordonnées du sommet sont donc : $-\theta$ et $-\frac{I\theta}{T}$.

Comme i_a représente la variation du courant d'anode, il est évidemment intéressant que i_{amin} corresponde à zéro pour le courant instantané d'anode i_A. La courbe représentant ce dernier est alors celle de la figure 35 *b*, qui se déduit de celle de la figure 35 *a*, en ajoutant $\frac{I\theta}{T}$ à l'ordonnée :

$$i_A = i_a + \frac{I\theta}{T},$$

d'où, en remplaçant i_a par sa valeur donnée dans l'équation (6) :

$$i_A = \frac{2I}{T}\left(t + \frac{t^2}{\theta}\right) + \frac{I\theta}{T}. \qquad (7)$$

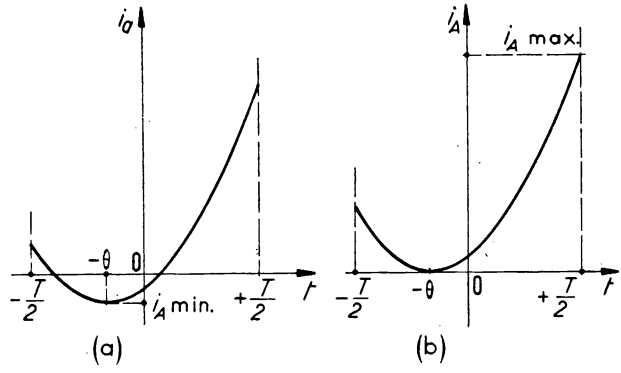


FIG. 35. — *Formes précises des variations de i_a et du courant anodique instantané i_A.*

Calculons la valeur moyenne I_a de i_A sur une période, c'est-à-dire entre T/2 à + T/2.

Ordonnons d'abord l'équation (7) :

$$i_A = \frac{2I}{T\theta}t^2 + \frac{2I}{T}t + \frac{I\theta}{T}. \qquad (8)$$

La moyenne de $\frac{I\theta}{T}$ est évidemment $\frac{I\theta}{T}$, puisque c'est une constante.

La moyenne de $\frac{2I}{T}t$ est nulle entre $-\frac{T}{2}$ et $+\frac{T}{2}$, puisque la courbe (droite de la figure 34) est symétrique par rapport à l'origine.

La moyenne de $\frac{2I}{\theta T}t^2$ se calcule par intégration :

Valeur moyenne de

$$\frac{2I}{T\theta}t^2 = \frac{1}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} \frac{2I}{T\theta}t^2\,dt = \frac{1}{T}\left[\frac{2It^3}{3T\theta}\right]_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}}.$$

On obtient finalement : $\frac{IT}{12\theta}$.

D'où :

$$I_a = \frac{IT}{12\theta} + \frac{I\theta}{T} = I\left(\frac{T}{12\theta} + \frac{\theta}{T}\right). \tag{9}$$

Cette quantité est minimale si (1) :

$$\theta = \sqrt{\frac{T}{12}}$$

$$\theta = 0{,}29T \tag{10}$$

Ceci donne la valeur optimale de l'inductance primaire :

$$\theta = \frac{L_p}{R} = 0{,}29T; \qquad L_p = 0{,}29TR.$$

La valeur de I_a est alors, en remplaçant $\frac{T}{\theta}$ par $\sqrt{12}$:

$$I_a = 0{,}58I.$$

REMARQUE. — Quand le transformateur est idéal, le courant moyen d'anode est égal à I (fig. 33). L'économie est donc considérable.

b) ***Calcul du courant de crête.***

---

(1) On peut le voir en prenant la dérivée par rapport à T ou à θ. On sait aussi que le minimum de la somme de deux termes à produit constant correspond à leur égalité.

Ce courant est $i_{A\max}$ (fig. 35 *b*), obtenu pour $t = +\frac{T}{2}$, soit, en remplaçant t par T/2 dans l'équation (8), et en effectuant :

$$i_{A\max} = I\left(1 + \frac{\theta}{T} + \frac{T}{4\theta}\right). \qquad (11)$$

Pour $\frac{I}{\theta} = \sqrt{12}$, on obtient : $i_{A\max} = 2{,}15\ I$.

Or, l'expression (11) montre que $i_{A\max}$ est minimal si $\frac{T}{\theta} = 2$. Ce minimum est égal à 2 I. Mais alors, le courant moyen I_a n'est plus minimum ; il vaut : $I_a = \frac{2}{3}I$.

En résumé :

Pour $\theta = \frac{T}{\sqrt{12}}$, *le courant moyen d'anode est minimal :* $I_a = 0{,}58\ I$;

le courant de crête est $i_{A\max} = 2{,}15\ I$.

Pour $\theta = \frac{T}{2}$, *le courant de crête est minimal :* 2 I ;

le courant moyen est : $\frac{2}{3}I$.

Il est manifeste que chacun de ces courants varie peu quand θ est compris entre $\frac{T}{\sqrt{12}}$ et $\frac{T}{2}$. Dans la pratique, on aura donc :

$$0{,}29T < \theta < 0{,}5T.$$

7 — DONNÉES NUMÉRIQUES SUR LE TRANSFORMATEUR DE SORTIE.

Considérons une bobine de déviation telle que celle déjà considérée. Le courant doit être de 0,4 A crête à crête. La quantité I du calcul ci-dessus est donc 0,2 A. Le courant de crête d'anode est voisin de 2 I, soit 0,4 A. Supposons que le tube employé soit capable de fournir une variation de courant crête à crête de 60 mA. Le rapport de transformation est alors :

$$n = \frac{0{,}4}{0{,}060} = 6{,}6.$$

Compte tenu de la résistance des enroulements du transformateur, ce rapport devra être effectivement d'au moins 7.

La résistance des bobines de déviation citées est de 35 Ω. Ramenée au primaire, elle donne : $R = 7^2 \times 35 = 1\,700\ \Omega$.

Prenons par exemple $\theta = L_p/R = 0{,}5$ T. Il vient :

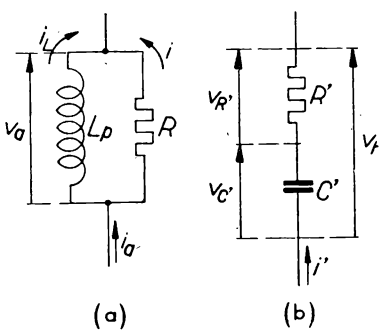
$$L_p = 0{,}5TR = 0{,}5 \times \frac{1}{50} \times 1\,700$$

$$L_p = 17H.$$

Il est maintenant facile de construire le transformateur qui est souvent, dans les récepteurs, un autotransformateur, par raison d'économie.

8 — LA TENSION DE GRILLE PEUT ÊTRE OBTENUE A L'AIDE D'UN « CIRCUIT RÉCIPROQUE ».

Le courant d'anode de la pentode est pratiquement proportionnel à la tension de grille. Celle-ci doit donc avoir la forme parabolique. Cette forme d'onde peut être obtenue à l'aide d'un **circuit réciproque** du circuit d'anode.



Considérons (fig. 36) le circuit d'anode (*a*) et un circuit (*b*).

Dans le circuit (*a*) :

i est en dents de scie linéaires (fig. 32).

i_L est en forme de paraboles symétriques.

i_a est la somme, paraboles dissymétriques.

← FIG. 36. — *Circuits réciproques.*

Faisons passer dans le circuit (*b*) un courant i' en dents de scie linéaires :

$v_{R'}$ est en dents de scie linéaires.

$v_{C'}$ est en forme de paraboles symétriques, car la tension aux bornes d'un condensateur est l'intégrale du courant qui le traverse.

v_t est la somme, paraboles dissymétriques.

EN RÉSUMÉ :

1° le circuit (*b*) comprend en série une résistance et une réactance capacitive, alors que le circuit (*a*) comprend en parallèle une résistance et une réactance inductive ;

2° *le courant* i *dans la résistance du circuit* (a) *a la forme de la tension* v_R, *aux bornes de la résistance du circuit* (b).

3° *le courant* i_L *dans la réactance du circuit* (a) *a la forme de la tension* $v_{C'}$ *aux bornes de la réactance du circuit* (b) ;

4° *le courant total* i_a (a) *a la forme de la tension totale* v_t (b).

Ces deux circuits sont dits *réciproques*. Les formes d'ondes se correspondent exactement si les constantes de temps sont les mêmes : $L_p/R = R'C'$.

La tension obtenue v_t est donc celle que l'on voulait appliquer sur la grille de la pentode.

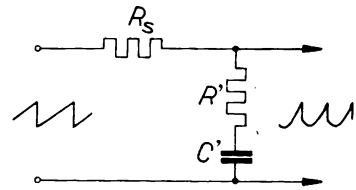


FIG. 37. — *Circuit fournissant une tension parabolique.*

REMARQUE — Pour créer un courant en dents de scie dans le circuit (*b*), il n'existe guère qu'une solution pratique : disposer d'une tension en dents de scie, et mettre en série une forte résistance R_s (fig. 37), pour que la forme du *courant* ne soit pas modifiée par la présence du condensateur C'. La tension parabolique disponible est donc faible.

9 — L'ONDE DE GRILLE PEUT ÊTRE OBTENUE AUTOMATIQUEMENT PAR CONTRE-RÉACTION.

Si l'on considère un amplificateur en général (fig. 38), la tension de sortie peut être rendue proportionnelle à la tension d'entrée avec une grande précision, et quel que soit l'amplificateur, à l'aide d'une contre-réaction de tension.

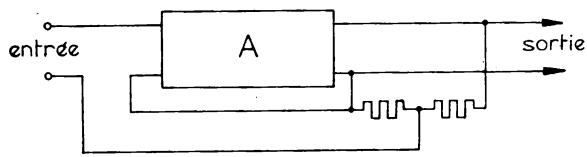


FIG. 38. — *Principe de la contre-réaction de tension.*

Si nous appliquons ce résultat bien connu au cas qui nous occupe, l'amplificateur sera rendu satisfaisant. Il suffira d'introduire à l'entrée une tension en dents de scie linéaires, pour retrouver sur l'anode une tension de forme identique, et, par suite, un courant en dents de scie linéaires dans la résistance de charge (bobine de déviation). L'amplificateur produit lui-même *automatiquement* la tension de correction : c'est elle qui est ramenée sur la grille.

Ce procédé paraît beaucoup plus sûr et commode que le circuit réciproque.

10 — UNE CONTRE-RÉACTION SÉLECTIVE PERMET D'AGIR SUR LA LINÉARITÉ DU BALAYAGE.

Nous avons vu dans les compléments sur le balayage horizontal, que le courant de déviation devait varier en fonction du temps avec une loi en S.

Dans le balayage vertical, on introduit la distorsion nécessaire en compliquant le circuit de contre-réaction (fig. 39).

11 — SCHÉMA COMPLET D'UN BALAYAGE VERTICAL (fig. 39).

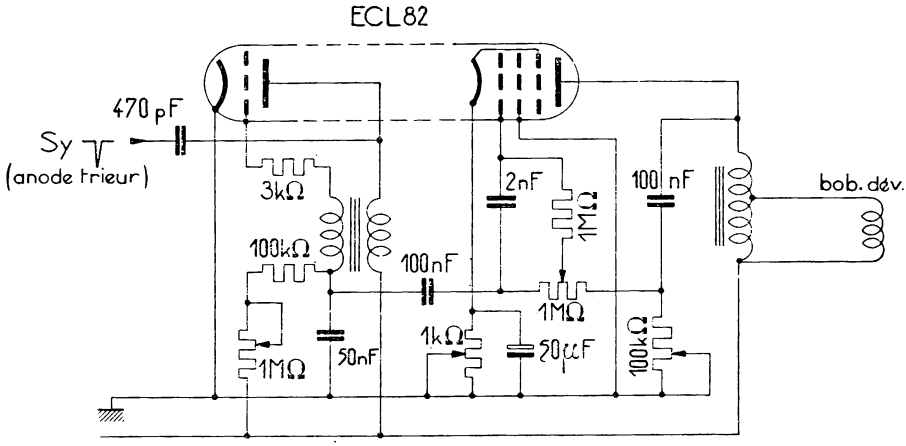


FIG. 39. — *Schéma complet d'un balayage vertical.*

Le potentiomètre de 1 MΩ situé tout à gauche du schéma règle la période propre de l'oscillateur à blocage. L'autre potentiomètre de 1 MΩ assure le réglage d'amplitude. Son extrémité droite est reliée à l'anode du tube et non à la masse, pour appliquer une contre-réaction. Celle-ci est sélective grâce au circuit 100nF, potentiomètre de 100 kΩ,

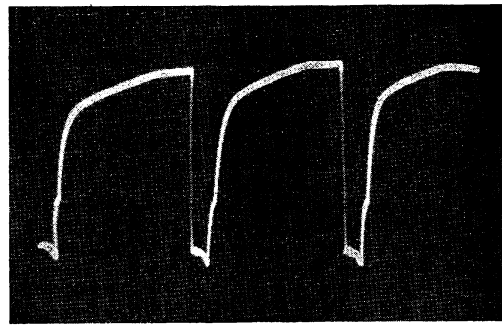
et réglable grâce à ce potentiomètre. Le potentiomètre de 1 kΩ modifie la polarisation de la pentode et agit aussi sur la linéarité.

12 — PROBLÈME DE L'ENTRELACÉ DES TRAMES.

Au chapitre de l'analyse des images, nous avons vu que, dans le balayage entrelacé, deux trames consécutives sont décalées, dans le temps, d'une demi-ligne. Pour que les lignes paires et impaires restent bien intercalées du haut en bas de l'écran, cet écart doit se conserver, si possible, à moins de 10 % près. La précision de la variation du champ de déviation verticale doit donc être meilleure que 0,1 demi-ligne sur une trame, soit 0,1 demi-ligne sur environ 400, c'est-à-dire $\frac{1}{8000}$! Une telle précision dans un dispositif physique peut sembler une utopie, et a fortiori dans un dispositif électronique.

Et pourtant, l'expérience montre que les lignes peuvent rester parfaitement placées sur l'écran des récepteurs, à condition que la tension de la source d'alimentation, en particulier, ne présente pas, au cours d'une trame, de variations supérieures à $\frac{1}{8\,000}$.

Il faut, pour cela, la filtrer très correctement, et éliminer tout résidu provenant de l'étage de puissance du balayage horizontal. Une alimentation séparée de l'ensemble relaxateur-amplificateur vertical, accompagnée d'une très forte contre-réaction, permet d'obtenir un résultat donnant entière satisfaction (1).



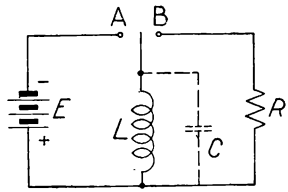
Cliché de l'auteur.

Onde de grille EL 36 typique prélevée sur un récepteur du commerce.

(1) Résultat des recherches faites aux Laboratoires d'Électronique et de Radioélectricité de la Faculté des Sciences de Bordeaux, publié dans la revue Télévision n° 234 (Oct. 59), (Éditions Radio. Paris).

Exercices

VI – 1. Sur le circuit de la figure ci-contre, on ferme l'inverseur sur A à l'instant zéro. A l'instant t_1 on le bascule sur B. Dessiner l'allure de la tension et du courant dans la bobine, pour diverses valeurs de la résistance R. Quelle est la valeur de R qui donnerait le « retour » le plus rapide ?



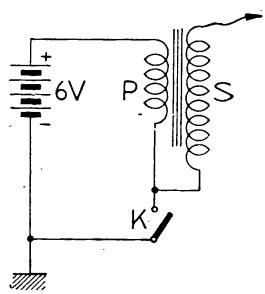
VI – 2. Sur le circuit de la figure 2 (p. 91), on ferme l'interrupteur à l'instant zéro, puis on l'ouvre à l'instant t_1, et enfin, on le referme au moment où le courant passe par zéro (milieu entre t_1 et t_2 sur la figure 4). Dessiner la forme de la tension et du courant dans la bobine.

VI – 3. Connaissez-vous divers types de tubes à vide dans lesquels une électrode sort au sommet de l'ampoule? Quelle est cette électrode, et pour quelles raisons sort-elle au sommet?

VI – 4. Rechercher des caractéristiques I_a, V_a de tubes de puissance triodes, pentodes, pentodes montées en triodes. Évaluer la résistance interne dans la zone d'utilisation courante de ces tubes. Évaluer la résistance interne le long de la caractéristique $V_g = 0$ (tube au déchet).

VI – 5. Le montage habituel à récupération de tension exige une diode dont la cathode peut résister à la très haute tension de rupture. Mais un autre montage, utilisant un transformateur et non un autotransformateur, permet d'employer une diode ordinaire. Dessiner le schéma, de telle manière que la tension récupérée soit toujours en série avec l'alimentation générale, et en assurant à la cathode de la diode un potentiel constant, ou tout au moins peu variable.

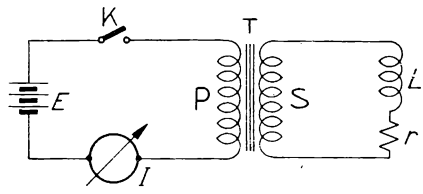
VI – 6. Une bobine d'allumage d'automobile (figure simplifiée ci-contre) a une résistance primaire de 1 Ω. L'inductance primaire est de 5 mH. Quelle est l'intensité du courant emprunté à la batterie de 6 V lorsque le primaire est branché en permanence (contact établi, moteur arrêté)?



Le moteur tourne à 1 200 tours par minute. La période du rupteur K est alors de 25 ms. Les contacts K sont fermés pendant 63 % du temps de cette période. Calculer la valeur maximale atteinte par le courant au cours d'une période. Calculer la valeur moyenne du courant fourni par la batterie.

Le moteur tourne maintenant à 4 000 tours par minute. Calculer de nouveau les valeurs maximale et moyenne du courant. Qu'en résulte-t-il pour la tension obtenue au secondaire et destinée à l'allumage?

VI – 7. Le schéma ci-contre représente un générateur simplifié de courants en dents de scie. T est un transformateur parfait de rapport $\frac{S}{P} = \frac{1}{2{,}5}$. L, r représente la bobine créant le champ de déviation. L = 10 mH ; $r = 10\,\Omega$. Il n'y a aucune capacité parasite. L'interrupteur K reste fermé pendant 42 μs, et son ouverture s'effectue en 7 μs, puis il se referme à nouveau et ceci de façon périodique.



Dessiner la forme du courant dans la bobine L.

L'appareil à courant continu I indique 100 mA. Quelle est la valeur crête à crête du courant dans L?

Quelle est la surtension aux bornes de K lors de la rupture?

Quelle est la valeur de E nécessaire pour obtenir un courant moyen de 100 mA dans le primaire?

E est maintenant remplacée par un condensateur. Quelle doit être sa valeur pour que la d. d. p. à ses bornes reste constante à 10% près? (On supposera que ce condensateur se recharge par un moyen non représenté.)

VI – 8. Calculer, soit par intégration, soit graphiquement, la valeur efficace d'un courant en dents de scie linéaires à retours instantanés, en fonction de son amplitude.

Calculer de même la valeur efficace d'une impulsion rectangulaire de période T et de durée θ.

VI – 9. Le raccordement des courants fournis par la diode et la pentode dans la bobine de déviation n'est pas toujours parfait. Quel est l'aspect de l'image si la pentode commence à conduire trop tôt? Quel est l'aspect si elle commence trop tard?

VI – 10. La très haute tension est filtrée par la capacité constituée par les revêtements intérieur et extérieur du tube cathodique, soit environ 1 000 pF. Quelle est la tension de ronflement à la fréquence des lignes, si le tube consomme 0,5 mA?

VI – 11. *Amplificateur pour le balayage de trame en télévision* [1].

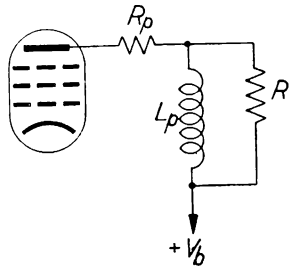
Les bobines de balayage d'un téléviseur (type 90°) sont des enroulements ayant une inductance de 30 mH et une résistance de 30 Ω. Le courant nécessaire au balayage de l'image complète vaut 0,4 A crête à crête.

---

[1] Problème de préparation au Certificat d'Études Supérieures d'Électronique, Faculté des Sciences de Bordeaux.

On supposera que cette intensité varie linéairement en fonction du temps (dent de scie triangulaire).

On n'étudiera, bien entendu, que le régime permanent et on supposera que la dent de scie dure la période T complète (ce qui revient à supposer le retour du spot instantané). T = 1/50 sec.



1° Montrer que les bobines se comportent à très peu de chose près comme leur résistance. On ne tiendra alors plus aucun compte de leur inductance.

2° Quand on bobine un transformateur, on s'arrange en général pour que le primaire et le secondaire occupent le même encombrement dans la fenêtre des tôles. Montrer, en supposant que la longueur de toutes les spires est la même, que la résistance du secondaire ramenée au primaire est alors sensiblement égale à la résistance du primaire.

3° Le secondaire possède, comme il est normal, la même résistance que les bobines, soit 30 Ω. Le tube est alimenté par une tension V_b de 210 V. La tension de déchet sera prise égale à 50 V. L'inductance primaire L_p du transformateur est d'abord supposée infinie. Le tube étant utilisé dans les conditions les plus économiques (c'est-à-dire avec le plus faible courant anodique possible), montrer que, pour le point moyen de fonctionnement, la chute de tension dans la résistance primaire vaut 40 V. Placer alors le point moyen de fonctionnement, tracer la droite de charge (en courant variable) sur un réseau en I_a, V_a convenablement gradué et déterminer le rapport du transformateur. Montrer que le tube ECL 80, dont la dissipation anode vaut P_a = 3,5 W et le courant $I_{a\,max}$ = 40 mA, ne convient pas, tandis que le tube ECL 82, avec P_a = 7 W et $I_{a\,max}$ = 85 mA, convient.

4° Pour l'étude des phénomènes, on fera varier le temps de $-\frac{T}{2}$ à $+\frac{T}{2}$ et on étudiera le problème en ramenant tout au primaire. Le schéma équivalent au montage avec transformateur étant donné ci-dessus, on désigne par R la résistance totale du secondaire ramenée au primaire et par I_m l'amplitude de la variation de I_a crête à crête. Quelles sont alors les valeurs numériques de R, de R_p et de I_m qu'il faudra utiliser?

5° L'inductance du primaire n'est plus infinie. Montrer que, si l'on veut un balayage sans distorsion, la tension aux bornes du primaire doit suivre une loi linéaire en fonction du temps. Établir l'équation de cette tension en fonction du temps, de R, I_m et T.

6° Établir la loi de variation la plus générale (ne pas oublier la constante d'intégration) de I_a en fonction du temps (et de R, I_m, T et L_p) en sachant bien que le fonctionnement du transformateur (couplage exclusivement magnétique entre primaire et secondaire) impose que,

en régime permanent, la tension primaire ait au cours du temps une moyenne rigoureusement nulle sur une période.

7° I_a, fonction de t, présente un minimum mathématique. Pour quelle valeur de L_p ce minimum est-il obtenu effectivement au cours d'une période de balayage (entre $-T/2$ et $+T/2$)? Calculer alors en fonction de L_p l'époque ainsi que la valeur de ce minimum.

8° Le fonctionnement le plus économique du tube correspond évidemment à un minimum nul. Montrer que le courant I_a est alors parfaitement défini et donner son expression mathématique en fonction du temps, de I_m, R, T, et L_p.

9° Calculer la valeur moyenne I_a du courant anodique au cours d'une période. Pour quelle valeur de L_p cette moyenne est-elle minimale? Calculer cette moyenne en fonction de I_m. Calculer alors numériquement L_p et I_a quand cette condition est réalisée.

10° Calculer la valeur de crête I_c de I_a. Pour quelle valeur de L_p ce courant de crête est-il minimal? Calculer ce minimum en fonction de I_m. Calculer alors numériquement L_p et Ic quand cette condition est réalisée.

11° En calculant I_a dans les conditions du 10° et I_c dans les conditions du 9°, rechercher à quelle condition il vaudra mieux satisfaire. Tracer alors la *courbe de charge* du tube dans le domaine I_a, V_a dans ces conditions (sur le même graphique que la droite de charge de la 3e question). Pour la tracer, il suffira d'en déterminer quelques points bien choisis après avoir établi les équations de I_a et V_a en fonction du temps. Quel tube doit-on choisir en définitive (ECL 80 ou ECL 82)?

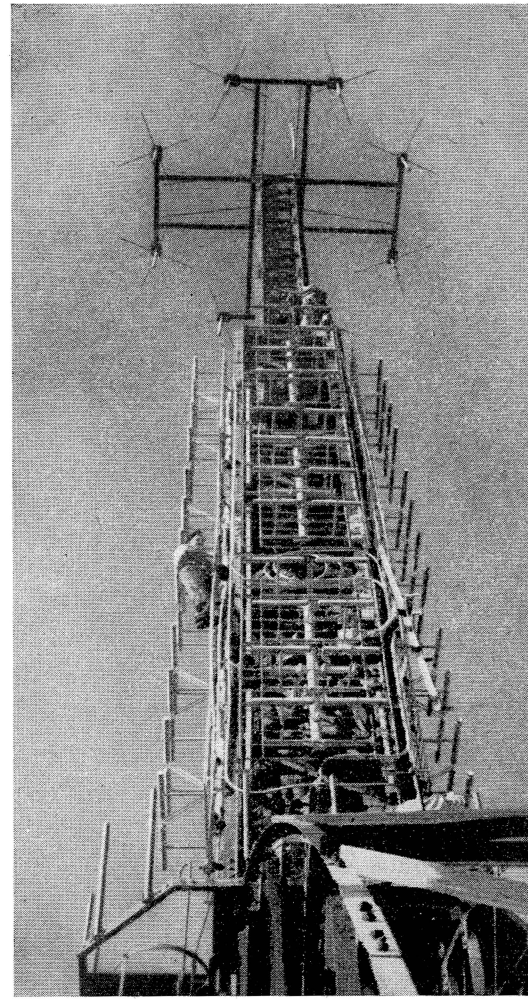
VI – 12. On s'intéresse aux variations de la tension d'alimentation d'un téléviseur pour perfectionner l'entrelacé des trames. Pour avoir un bon résultat, cette tension doit être constante à moins d'un dix-millième près. Le courant d'anode d'un tube interrupteur de puissance de balayage horizontal est constitué de dents de scie linéaires de durée pratiquement égale à une demi-ligne. Le courant moyen correspondant est de 100 mA. Quelle est la valeur minimale du condensateur de filtrage de l'alimentation, pour que, du fait du balayage horizontal, la tension à ses bornes varie de moins de un dix-millième sur 250 V?

VI – 13. Sur le schéma de la figure 28, quelle est l'utilité de la résistance de 100 kΩ située en série avec le potentiomètre de 100 kΩ, dans la grille de la triode de droite du tube ECC 82?

Que se passerait-il si le potentiomètre de 50 kΩ venait à se couper?

◇

VII. — CIRCUITS ACCESSOIRES DANS LES TÉLÉVISEURS



Cliché C. S. F. Georges Brü

Antenne de l'émetteur T. V. de Paris, au sommet de la Tour Eiffel. On remarque les séries d'éléments demi-onde.

A. — Le réglage de l'amplification

1 — LE RÉGLAGE AGIT SUR LA POLARISATION DE GRILLE DES TUBES A FRÉQUENCE INTERMÉDIAIRE (1).

Un ou deux de ces tubes sont du type à forte tension de blocage dits « à pente variable ». La polarisation de grille est réglable à l'aide d'un potentiomètre branché sur une source de tension négative et accessible au téléspectateur. Ce peut être aussi un potentiomètre inséré dans la cathode de ces tubes.

2 — LE RÉGLAGE PEUT ÊTRE AUSSI AUTOMATIQUE.

On prélève alors la tension négative destinée aux grilles sur un détecteur branché dans le sens convenable ou même à la sortie de l'étage « vidéo ».

C'est alors la *valeur moyenne* du signal qui règle l'amplification, par le même procédé que la commande automatique de sensibilité des récepteurs radiophoniques. Mais ici, le système règle la *luminosité moyenne*, ce qui n'est pas tout à fait la même chose que la sensibilité du récepteur.

Des dispositifs plus complexes ont été imaginés, tels ceux qui prélèvent le niveau du noir pendant les paliers d'effacement. Ils règlent ainsi effectivement l'amplitude d'un niveau fixe à l'émission, donc la sensibilité du récepteur, sans que ce soit fonction du contenu de l'image.

Le réglage automatique est toujours combiné avec un réglage manuel.

3 — LA VARIATION DE POLARISATION ENTRAINE UN DÉSACCORD IMPORTANT DES CIRCUITS OSCILLANTS.

Dans les amplificateurs à fréquence intermédiaire, la capacité parasite accordant le circuit oscillant de grille, est surtout constituée par la capacité grille-cathode du tube. Cette capacité est variable en fonction de la tension de grille par suite de la variation de la charge d'espace. On observe des modifications de l'ordre de 1 à 3 pF dans les tubes courants.

EXEMPLE NUMÉRIQUE : *La capacité parasite C_{gk} d'un tube est de* 10 *pF. Elle varie de* 2 *pF lorsque la grille voit son potentiel passer de* — 2 *V à la tension de blocage. Quel est le désaccord apporté à un circuit accordé sur* 50 *MHz?*

---

(1) On se reportera aux réglages de contraste et luminosité, au chapitre « réception et séparation des signaux » (page 47).

La variation relative de capacité d'accord est de $\frac{2}{10}$. Or, d'après la formule de Thomson, une variation de capacité $\frac{\Delta C}{C}$ entraîne une variation relative de fréquence $\frac{1}{2}\frac{\Delta C}{C}$. Lorsque la capacité diminue de $\frac{2}{10}$, la fréquence va augmenter de $\frac{1}{10}$, soit ici 5 MHz, ce qui, on le conçoit, est considérable.

4 — UNE RÉSISTANCE DE CATHODE NON DÉCOUPLÉE ÉLIMINE APPROXIMATIVEMENT CE DÉSACCORD.

Admettons que l'on emploie une pentode dans de bonnes conditions :

$$i_a = sv_g$$

Cherchons l'impédance d'entrée du montage de la figure 1, c'est-à-dire le rapport : $z_e = \frac{v_e}{i}$.

Après quelques calculs simples, on arrive à :

$$z_e = \frac{1 + sR + jRC\omega}{jC\omega}.$$

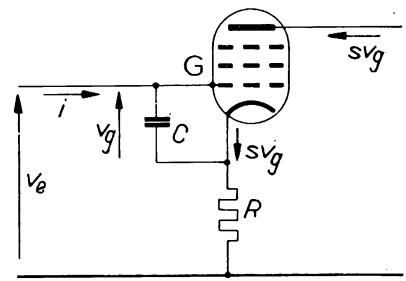


FIG. 1. — *Compensation de la variation de la capacité d'entrée.*

Dans le cas pratique, la quantité RCω est très inférieure à 1, comme on peut le vérifier facilement (1). Il reste alors :

$$z_e = \frac{1}{jC\omega}(1 + sR).$$

Lorsque la tension de grille varie, la pente varie et la capacité grille-cathode aussi. Appelons C la capacité grille-cathode pour une

(1) Avec R = 100 Ω, C = 10 pF (ce qui est beaucoup) et à 10 MHz seulement, on a : $RC\omega = 10^2 \times 10^{-11} \times 2\pi . 10^7 = 2\ \pi.10^{-2} = 0{,}06$.

pente s, et C_o la valeur de cette même capacité lorsque la pente vaut s_o. La capacité d'entrée entre grille et masse est alors :

$$\frac{C}{1 + sR} \quad \text{dans le premier cas}$$

$$\frac{C_0}{1 + s_0R} \quad \text{dans le deuxième cas.}$$

Si l'on veut que la capacité d'entrée soit la même, on doit avoir :

$$\frac{C}{1 + sR} = \frac{C_0}{1 + s_0R}.$$

Bien entendu, ceci n'entraîne pas forcément que pour les valeurs de la pente comprises entre s et s_o, la capacité d'entrée soit encore constante, car la loi de variation est complexe. Mais l'écart reste faible en pratique.

Pour simplifier, on peut prendre pour s la pente d'utilisation normale du tube, et pour s_o la pente du tube juste au blocage, c'est-à-dire zéro. C_o est alors la capacité grille-cathode du tube bloqué. Dans ces conditions :

$$\frac{C}{1 + sR} = C_0,$$

$$R = \frac{1}{s}\frac{C - C_0}{C_0}.$$

Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs numériques :

Tube	C_0 (pF)	$C - C_0$ entre le blocage et la pente s (pF)	s mA/V	R Ω	Réduction de l'amplification due à R
6 BA 6	5,5	2,5	4,4	105	38 %
6 AK 5	4	1	5,1	50	20 %
6 AU 6	5,2	2,3	5,2	85	39 %
EF 80	7,2	1,8	7,2	33	19 %

REMARQUE — L'amplification de l'étage est également divisée par le facteur : $1 + s\,R$ [1]. Elle diminue donc d'un certain pourcentage, mentionné dans la colonne de droite du tableau ci-dessus.

[1] Il y a une contre-réaction de facteur $1 + sR$.

B. — Synchronisation par asservissement

1 — LE BRUIT DE FOND PEUT TROUBLER LA SYNCHRONISATION DES LIGNES.

Dans un récepteur sensible, recevant une émission lointaine, les signaux se trouvent entachés d'un bruit de fond important, provenant tant du récepteur que des parasites industriels ou atmosphériques.

Certaines impulsions de grande amplitude contenues dans ce bruit peuvent être prises par les dispositifs de balayage comme des impulsions de synchronisation, si l'instant où elles surviennent est voisin de la fin d'une ligne. On observe alors que les lignes ne finissent pas toutes sur une même verticale. Tout se passe comme si elles glissaient horizontalement les unes par rapport aux autres (fig. 2). Les flancs de l'image ne sont plus rectilignes, de même que les traits verticaux pouvant se trouver dans le spectacle télévisé.

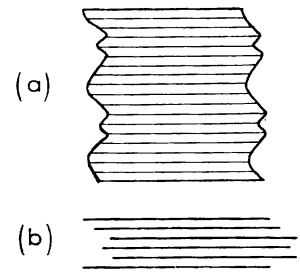


FIG. 2. — *a) Aperçu de la déformation d'une image par le bruit de fond ; b) Détail de la position des lignes à un instant donné.*

REMARQUE — Le balayage vertical n'est pas sensible à ce phénomène, car les impulsions de bruit de fond ne lui parviennent pas, après les transformations que nous avons décrites au chapitre « séparation des signaux ».

2 — LE CARACTÈRE PÉRIODIQUE DES IMPULSIONS DE SYNCHRONISATION PERMET D'ÉLIMINER L'INFLUENCE DES PARASITES.

On emploie le principe général suivant : le relaxateur des lignes est d'abord réalisé de manière que sa fréquence de récurrence soit assez stable, en l'absence de synchronisation ; les signaux de synchronisation, plus ou moins noyés dans le bruit, sont prélevés par un dispositif périodique. Ainsi, toute impulsion de bruit de fond survenant entre les instants de prélèvement est évidemment éliminée.

Les impulsions de bruit ou de synchronisation prélevées aux instants choisis sont transformées en un signal à variation lente faisant glisser la fréquence du relaxateur lorsque celle-ci ne coïncide pas exactement avec la fréquence des lignes envoyées par l'émetteur.

3 — LE TRI MET EN ŒUVRE UN « COMPARATEUR DE PHASE ».

La figure 3 montre la disposition générale du montage ; c'est le schéma type d'une régulation par asservissement (contre-réaction, servomécanisme, etc.).

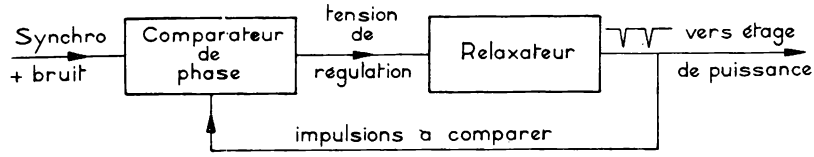


FIG. 3. — *Organisation d'une synchronisation par asservissement.*

Des impulsions fournies par le relaxateur fonctionnant *librement* sont comparées avec les impulsions de synchronisation venant de l'étage séparateur du récepteur. Si les deux catégories d'impulsions coïncident dans le temps, le comparateur délivre une tension fixe qui n'a aucune action sur le relaxateur.

Par contre si l'une des catégories d'impulsions avance ou retarde sur l'autre, le comparateur fournit une tension augmentée ou diminuée, capable d'accélérer ou de retarder le relaxateur. Il y a alors régulation jusqu'à ce que les deux séries d'impulsions se retrouvent en coïncidence.

Les types de comparateurs sont assez nombreux. Citons :

a) les tubes à deux grilles de commande (pentodes par exemple), polarisés au blocage, de manière que le courant d'anode n'existe que si *ces deux* grilles reçoivent *simultanément* chacune une impulsion.

b) les dispositifs à deux diodes : l'une des impulsions rend la première diode conductrice ; le courant ne passe alors que si l'autre diode est, *au même instant*, soumise à l'autre impulsion ;

c) les discriminateurs de phase proprement dits, basés sur le principe du discriminateur employé en modulation de fréquence.

On agit sur les relaxateurs en appliquant la tension de régulation sur la grille agissant dans le bon sens, ce qui fait varier le temps de conduction du tube correspondant.

4 — SCHÉMA DE COMPARATEUR SIMPLE A DIODES (fig. 4).

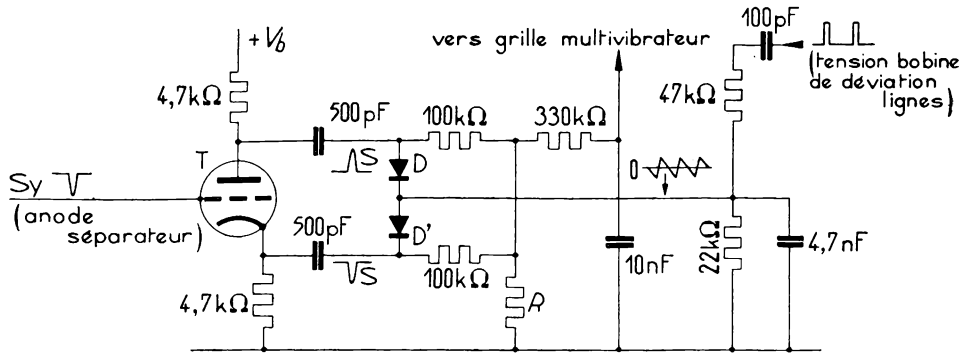


FIG. 4. — *Schéma d'un comparateur de phase, du type discriminateur. Le tube T est un déphaseur cathodyne. Les impulsions S rendent les diodes conductrices de manière identique si, au même instant, les dents de scie obtenues grâce au circuit 47 kΩ, 4,7 nF passent par zéro (milieu du retour). Sinon, une diode conduit plus que l'autre, et une tension apparaît aux bornes de R. Filtrée, elle est envoyée au relaxateur pour en faire varier la période.*

C.— Circuit d'entrée et antenne

1 — L'ANTENNE DE TÉLÉVISION EST UNE ANTENNE DEMI-ONDE, ACCOMPAGNÉE DE BRINS DIRECTEURS ET RÉFLECTEURS.

Les ondes métriques se prêtent bien à l'emploi d'antennes à ondes stationnaires du type demi-onde, puisque la longueur de telles antennes est de l'ordre du mètre.

L'impédance interne du doublet demi-onde est de 72 Ω.

En télévision, il est accompagné d'un *réflecteur* et de un ou plusieurs *directeurs*, eux-mêmes des doublets demi-onde. Ces brins sont couplés électromagnétiquement, donc sans connexion électrique, avec le doublet principal. Celui-ci est ouvert au centre de manière à permettre le branchement du câble de descente (fig. 5).

L'introduction des brins « parasites » que sont les directeurs et les réflecteurs diminue considérablement l'impédance de l'antenne. Pour retrouver la valeur initiale, on remplace le doublet principal

par un *doublet replié* (1) en forme de trombone. C'est ce que représente la figure 5.

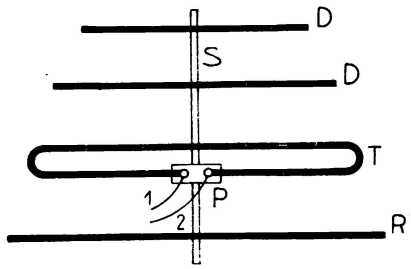
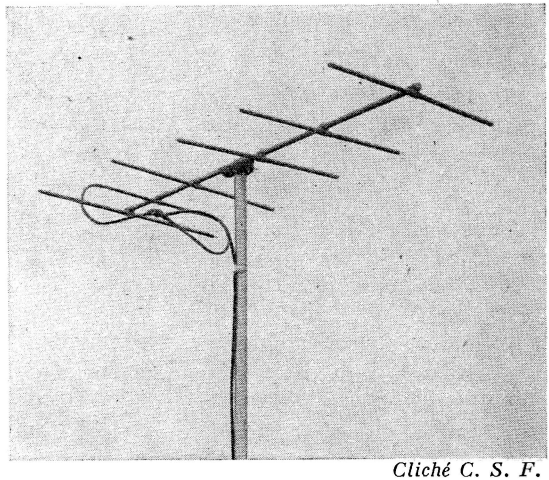


FIG. 5.

Antenne, vue de dessus ; R : réflecteur ; D : directeurs ; T : doublet replié ; S : tube suport métallique ; P : plaquette à bornes ; 1-2 : bornes de sortie.



Cliché C. S. F.

Diverses formes plus complexes peuvent se rencontrer, mais le but poursuivi reste le même.

2 — LA LIAISON DE L'ANTENNE AU RÉCEPTEUR DOIT SE FAIRE AVC UN CABLE « ADAPTÉ ».

a) *Le transfert d'énergie est maximal lorsque la résistance interne du récepteur est égale à celle du générateur* (ici, l'antenne). Le récepteur aura donc une entrée de 72 Ω. Elle est obtenue à l'aide d'une bobine de une ou deux spires couplée au circuit oscillant d'entrée, ou à l'aide d'une prise sur celui-ci.

b) *Le câble de liaison doit avoir une impédance caractéristique de même valeur* ; sinon, on observe des ondes stationnaires dans le câble, provoquées par des ondes réfléchies aux extrémités interférant avec l'onde principale et aussi entre elles. Ces ondes parviennent de nouveau au récepteur après avoir parcouru un ou plusieurs allers et retours dans le câble. Elles sont ainsi retardées d'un délai calculable facilement, et donnent une série d'images décalées en retard par rapport à l'image principale, donc décalées vers la droite sur l'écran, puisque le balayage s'effectue de gauche à droite.

En pratique, les câbles courants sont de 75 Ω, ce qui convient avec toutes les antennes prévues pour une impédance de cet ordre, la tolérance étant assez large.

(1) Folded chez les Anglo-Saxons.

3 — PLUSIEURS RÉCEPTEURS PEUVENT ÊTRE BRANCHÉS SUR UNE MÊME ANTENNE, A CONDITION D'ADAPTER LES IMPÉDANCES.

Soit à brancher deux récepteurs de résistance d'entrée 75 Ω sur une même antenne de 75 Ω également (fig. 6).

Le circuit, ainsi que les valeurs des résistances, doivent être tels que de l'antenne (bornes A B), on voie une résistance de 75 Ω lorsque les deux récepteurs sont branchés, et que de chaque récepteur (bornes R_1 ou R_2) on voie 75 Ω lorsque l'autre récepteur est branché. Un calcul simple permet de trouver R et R'.

On remarque alors que chaque récepteur dispose de la moitié de la tension qu'il aurait eue s'il avait été branché seul et adapté sur l'antenne. Si l'on branche N récepteurs, chacun dispose de $1/N^e$ de la tension.

Lorsque le nombre N est supérieur à quelques unités, on interpose un amplificateur, sauf si la réception est d'une exceptionnelle intensité.

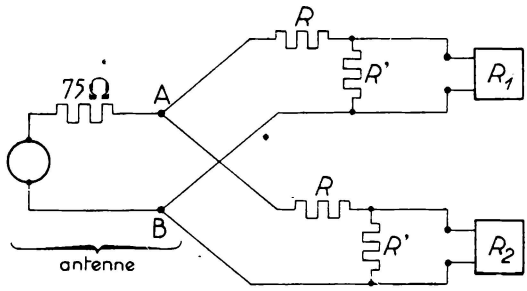
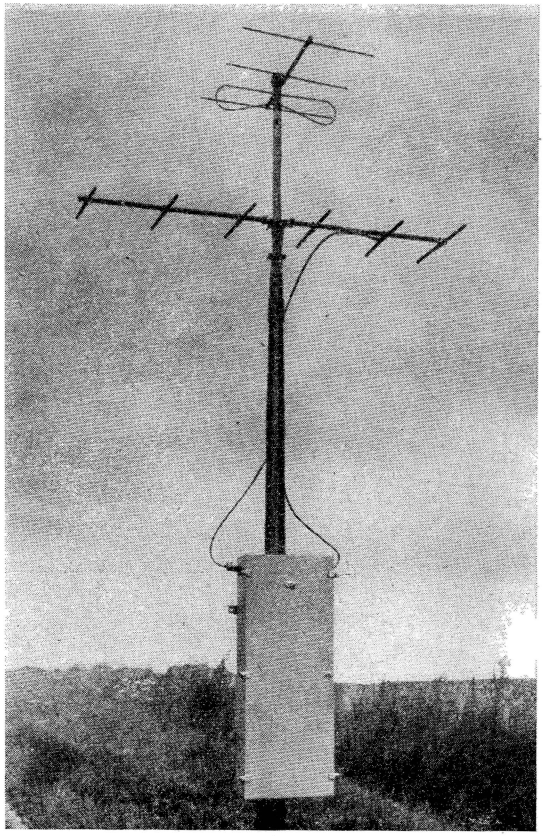


FIG. 6. — *Branchement de deux récepteurs sur une même antenne.*



Cliché C. S. F. ***Roger Violet.***

Réémetteur de télévision.

Exercices

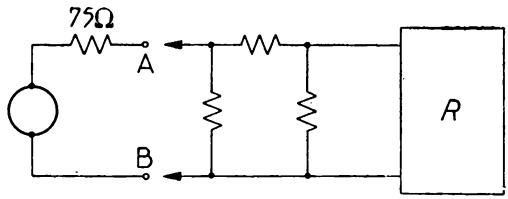
VII - 1. La figure ci-contre donne les courbes I_a (V_g) et s (V_g) d'un tube à tension de blocage assez forte, type EF 85. Ce tube est destiné au réglage de sensibilité, grâce à un potentiomètre monté en rhéostat, introduit entre cathode et masse. Il est bien entendu shunté par un condensateur. Pour apprécier la commodité du réglage, tracer la courbe du gain du tube en fonction de l'angle de rotation du potentiomètre (on supposera la résistance du potentiomètre proportionnelle à l'angle de rotation de son axe).
D'après la forme de la courbe, le réglage est-il agréable?

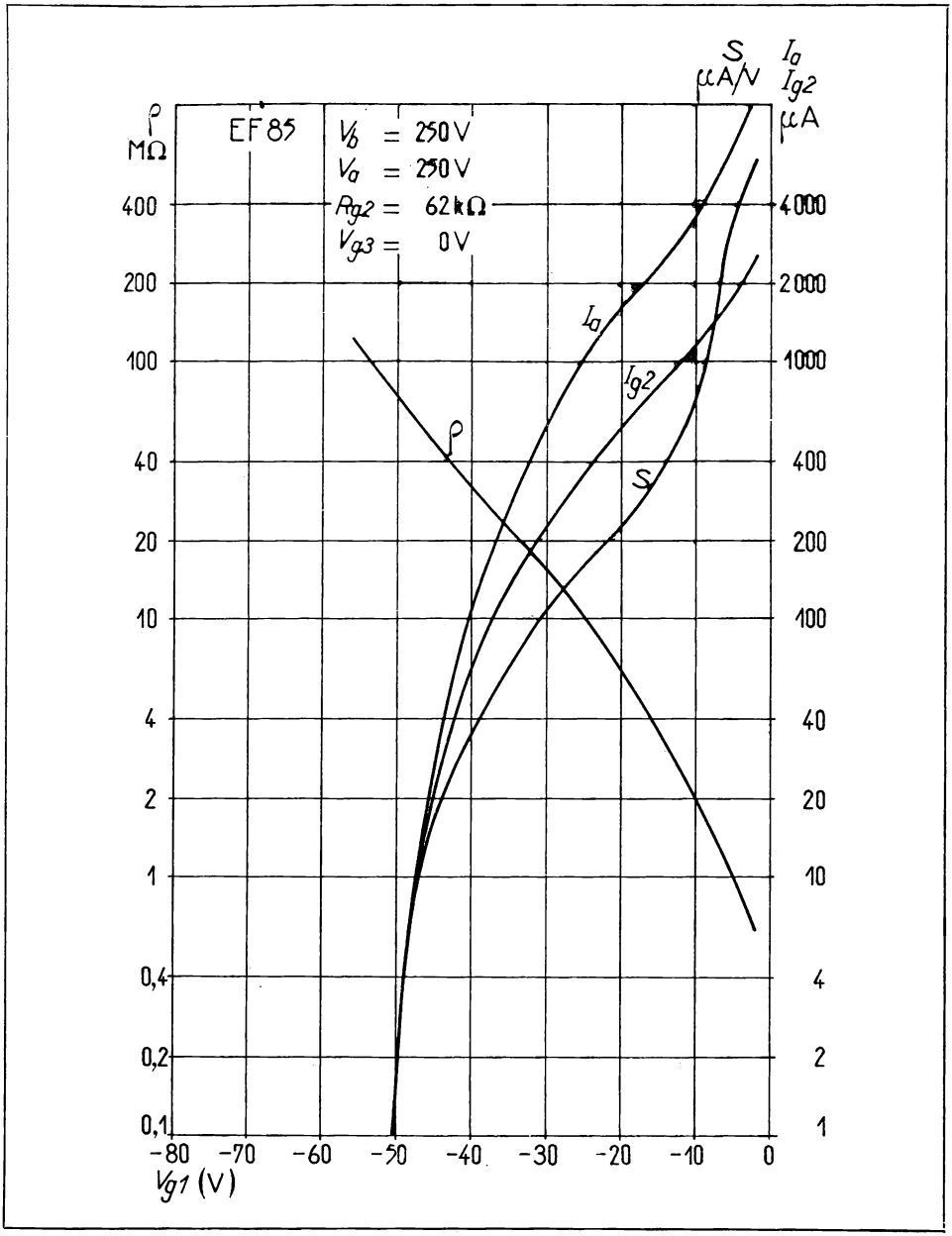
VII - 2. Calculer l'impédance d'entrée du montage de la figure 1.
Calculer la diminution de l'amplification du tube du fait de la présence de R.

VII - 3. Dans le schéma de la figure 1, la résistance R dépend de la variation de capacité d'entrée du tube. Sa valeur n'est pas forcément la même que celle de la résistance de cathode destinée à la polarisation automatique du tube. Quel schéma doit-on adopter dans le cas où R est supérieure à la résistance de polarisation? Dans le cas où R est inférieure à cette résistance?

VII - 4. Montrer que, dans le montage de la figure 6, chaque récepteur dispose de la moitié de la tension disponible entre A et B. Généraliser à plus de deux récepteurs.

VII - 5. On veut relier un récepteur à une antenne (bornes A B) à l'aide d'un atténuateur (figure ci-contre). Quelles sont les valeurs des trois résistances de l'atténuateur pour que le signal soit atténué de 18 dB, et que la liaison reste adaptée (le récepteur voit une résistance de 75 Ω lorsque l'antenne est branchée, et l'antenne voit une résistance de 75 Ω lorsque le récepteur est branché)?





Exercice VII — 1.

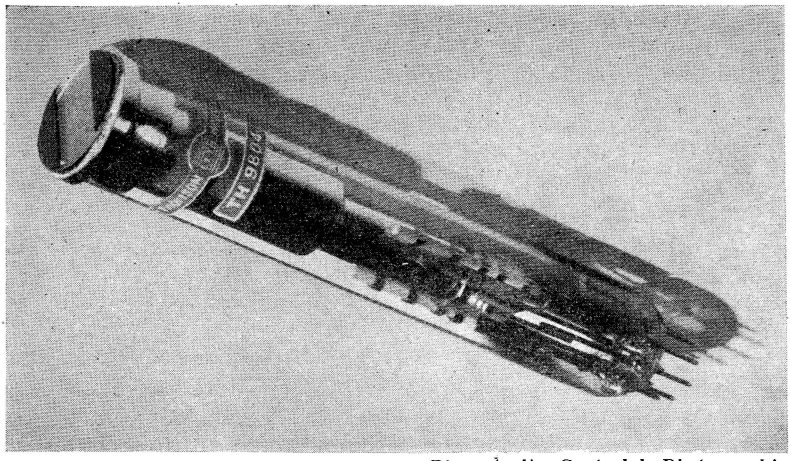


Photo Atelier Central de Photographie
Cie Française Thomson Houston

Tube analyseur vidicon

VIII. — TECHNOLOGIE DE QUELQUES PIÈCES DÉTACHÉES DE TÉLÉVISION

A. — Le rotacteur

Le rotacteur commute des jeux de bobinages et permet ainsi de recevoir la station de son choix, dans la mesure où, bien entendu, la propagation est convenable.

1 — UN COMMUTATEUR ORDINAIRE EST INUTILISABLE EN ONDES MÉTRIQUES.

Comme nous l'avons déjà indiqué lors de l'étude des amplificateurs, pour ondes métriques, la longueur des connexions ne doit pas dépasser 1 à 2 cm, sinon, elles constituent une portion trop grande des inductances d'accord.

Or les liaisons entre plusieurs jeux de bobines et les cosses d'un commutateur classique entraînent, tout au moins pour certaines de ces bobines, des fils de plusieurs centimètres.

2 — LE ROTACTEUR PLACE LE JEU DE BOBINES CHOISI LE PLUS PRÈS POSSIBLE DES TUBES AMPLIFICATEURS.

Les mandrins sont disposés sur le pourtour d'un tambour rotatif muni de contacts sur lesquels sont soudés les fils de sortie des bobinages (fig. 1). Le bâti supporte des lames élastiques communiquant avec le support de lampe placé le plus près possible.

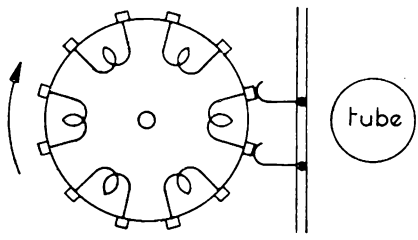


FIG. 1. — *Disposition des contacts, des bobines et du tambour d'un rotacteur.*

On voit que toute bobine présentée en face des contacts, et maintenue par un encliquetage, est reliée aux électrodes du tube par les connexions les plus courtes possibles.

Il existe des rotacteurs comportant de 6 à 12 positions. Ils commutent toutes les bobines de l'amplificateur cascode, c'est-à-dire : le circuit d'entrée, le circuit de liaison, le circuit de sortie (deux bobines couplées en général), la bobine de neutrodynage, ainsi que la bobine de l'oscillateur local, soit en tout six bobines.

3 — CHAQUE JEU DE BOBINES EST MONTÉ SUR UNE BARRETTE AMOVIBLE.

L'ensemble des six bobines citées ci-dessus est fixé sur une barrette isolante sur le bord de laquelle sont sertis les contacts en métal argenté. Ces barrettes peuvent être introduites par simple pression dans des rainures prévues sur les flasques du tambour. Un ressort les maintient en position.

Chaque barrette correspond à un canal d'émission, c'est-à-dire à un émetteur déterminé. Il n'est pas indispensable de mettre toutes les barrettes sur le rotacteur, lorsque par exemple, ce qui est un cas courant, la réception d'une seule station est possible.

B. — Le transformateur de sortie de lignes et la très haute tension

1 — CE TRANSFORMATEUR TRAVAILLE A UNE FRÉQUENCE MOYENNE. IL EST BOBINÉ SUR UN NOYAU DE FERRITE.

La fréquence des lignes est de l'ordre de 20 kHz. A cette fréquence, les tôles ordinaires présentent des pertes importantes. Mais si l'on construit un transformateur sans fer, son volume est prohibitif et son rendement médiocre. Le noyau de ferrite résout le problème.

2 — L'ISOLEMENT EST LA PRINCIPALE EXIGENCE DANS SA CONSTRUCTION.

Nous avons vu qu'il se produisait des surtensions pouvant atteindre 5 kV. De plus le bobinage élévateur, fournissant la très haute tension est porté, tout au moins à une extrémité, à un potentiel atteignant 20 kV. Il est indispensable, dans ces conditions, que les bobinages soient très soigneusement imprégnés de cire isolante, puis enrobés d'une couche suffisamment épaisse, sans craquelures ni lacunes intérieures. Le moindre défaut amène la destruction du transformateur.

3 — LES CONDUCTEURS SOUMIS AU POTENTIEL DE LA TRÈS HAUTE TENSION DOIVENT ÊTRE TOTALEMENT DÉNUÉS D'ANGLES VIFS.

On sait, en effet (1), que le champ électrique est très intense au voisinage d'un conducteur de faible rayon. Il peut se produire dans cette zone une ionisation de l'air donnant des aigrettes, et en tous cas, entraînant un courant de fuite appréciable. L'étincelle peut aussi éclater avec les conducteurs à bas potentiel les plus proches, ou avec le châssis. C'est pourquoi il faut :

a) Éviter de couder à angles vifs les fils nus.

b) Recouvrir toutes les cosses à souder de petites coupelles à bords arrondis, dont le rayon de courbure minimal est de l'ordre de 3 mm.

c) S'évertuer à faire des soudures ne présentant pas de petites pointes.

Fréquemment, la borne supérieure du transformateur, le tube valve de très haute tension et son support forment un ensemble plus ou moins démontable, enrobé de matière plastique.

---

(1) Pouvoir des pointes en électrostatique.

4 — EXEMPLE DE TRANSFORMATEUR DE SORTIE DE LIGNES.

La figure 2 donne un exemple de construction.

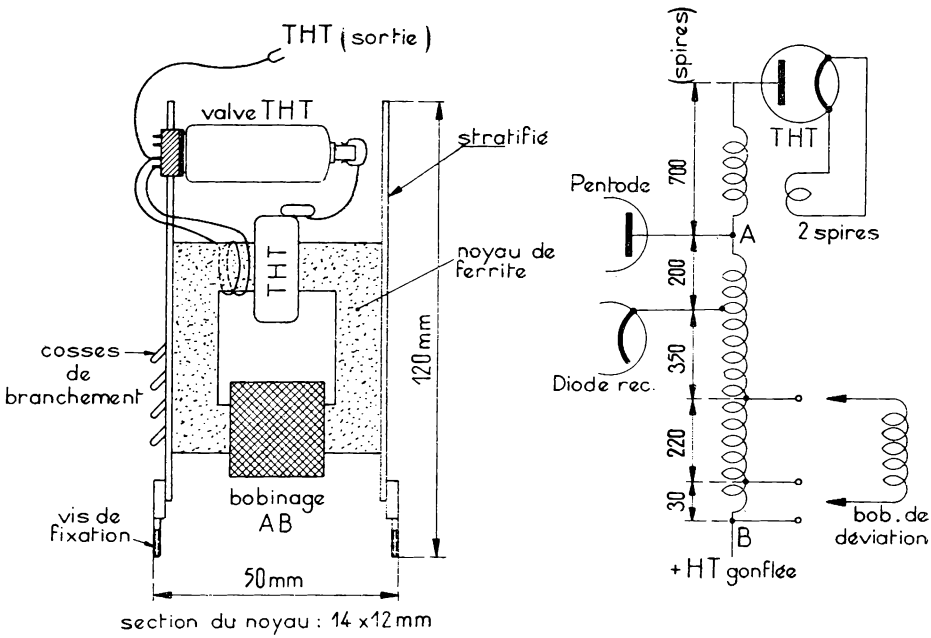


FIG. 2. — *Exemple de transformateur de sortie de lignes.*

5 — LA TRÈS HAUTE TENSION N'EST DANGEREUSE QUE PAR LES RÉFLEXES VIOLENTS QUE SON CONTACT PEUT ENTRAINER.

Le débit que la source de très haute tension peut fournir est très faible : quelques dizièmes de milliampère. Lors d'un contact accidentel avec les fils sous tension, l'opérateur court-circuite pratiquement cette source, mais décharge le condensateur de filtrage constitué par les revêtements conducteurs du tube cathodique. Cette décharge produit un choc électrique sans danger pour une personne normale, mais peut provoquer par surprise un mouvement violent, toujours à craindre dans le voisinage du tube cathodique, dont la résistance mécanique est évidemment limitée.

C. — Les transformateurs à fer : Transformateur de sortie de trames Transformateurs des oscillateurs à blocage

1 — LE TRANSFORMATEUR DE SORTIE DE TRAMES EST CONSTRUIT COMME UN TRANSFORMATEUR ORDINAIRE POUR BASSES FRÉQUENCES.

Nous avons évalué, dans le chapitre du balayage de trame, l'inductance primaire, qui s'élève à 10 ou 20 H. Le transformateur est parcouru par le courant moyen d'anode du tube de sortie ; il est donc indispensable de ménager un entrefer, comme dans un transformateur pour haut-parleur.

L'isolement n'a pas à être spécialement poussé, les tensions en jeu étant inférieures au millier de volts.

2 — EXEMPLE DE TRANSFORMATEUR DE SORTIE DE TRAMES.

Rapport : 10.
Inductance primaire : 15 H.
Noyau : tôles ordinaires, section 24 × 24 mm, soit 5,76 cm² (dimensions extérieures des tôles : 72 × 60 mm).
Primaire : 5 450 spires de fil 18/100 de mm.
Secondaire : 545 spires de fil 4/10 de mm.
Résistance du primaire : 650 Ω.
Résistance du secondaire : 9 Ω.
Résistance des bobines de déviation correspondantes : 40 Ω.

3 — LE TRANSFORMATEUR DE L'OSCILLATEUR A BLOCAGE DES TRAMES EST UN PETIT TRANSFORMATEUR POUR BASSES FRÉQUENCES.

Bobinés sur un noyau de 2 cm² environ de section (1), les enroulements comprennent plusieurs milliers de tours de fil très fin (1/10 de mm) et par conséquent relativement fragile.

Le rapport de transformation est souvent voisin de 1.
La résistance des enroulements est de l'ordre de 200 à 500 Ω.

---

(1) Tôles également employées dans les transformateurs de haut-parleur d'environ 1 watt modulé.

4 — LE TRANSFORMATEUR DE L'OSCILLATEUR A BLOCAGE DES LIGNES DOIT AVOIR DE FAIBLES CAPACITÉS PARASITES.

Dans les récepteurs où l'on utilise un oscillateur à blocage pour le relaxateur des lignes (1), il est indispensable que la demi-période d'oscillation propre du transformateur, qui représente la durée du retour de la dent de scie du relaxateur pilote, soit inférieure à la durée du retour propre de l'ensemble transformateur de sortie et bobine de déviation.

Pour y parvenir, on se contente d'abord d'une inductance plus faible que pour le transformateur du relaxateur de trames. Les enroulements n'ont que quelques centaines de tours, en fil de 1/10 de mm. En outre, on enroule primaire et secondaire sur une carcasse aérée, éloignant les bobines du paquet de tôles.

On arrive aussi à diminuer les capacités parasites en diminuant beaucoup les dimensions du transformateur. Certains ne dépassent pas 2 cm dans leur plus grande dimension.

D. — Le bloc de déviation magnétique

1 — LES BOBINES SONT RÉALISÉES EN FORME DE GALETTES.

Le champ à obtenir est perpendiculaire à l'axe du tube cathodique (fig. 3, en bas). On l'obtient en plaçant de part et d'autre du tube, pour que le champ soit assez uniforme dans la zone où passe le faisceau, deux bobines plates et allongées.

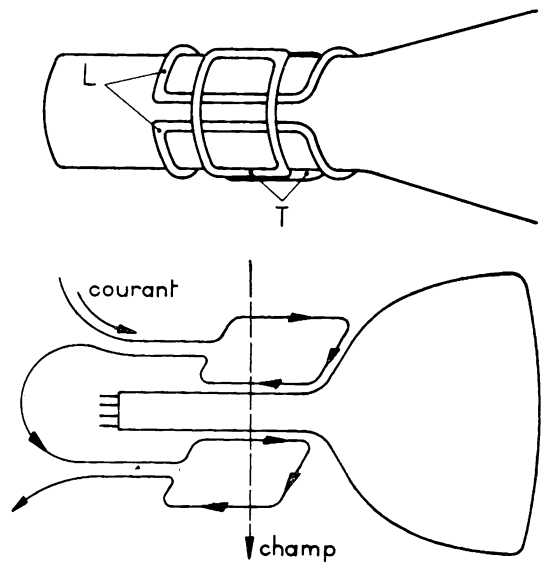


FIG. 3. — *Bobines de déviation.*
En haut, disposition des deux parties de bobines.

(1) Le plus grand nombre de récepteurs est monté avec un multivibrateur pour les lignes et un oscillateur à blocage pour les trames, sans raison profonde apparente.

Bien entendu, l'autre champ de déviation sera produit par une autre paire de bobines, dont les plans seront perpendiculaires aux plans des précédentes.

2 — LES BOBINES SONT PLACÉES LE PLUS PRÈS POSSIBLE DE L'AXE DU TUBE, ET ENTOURÉES D'UNE BAGUE DE FERRITE.

La figure 4 montre une coupe du bloc de déviation tel qu'on le réalise couramment. Les lignes de force qui se refermeraient dans l'air sont canalisées par une bague de ferrite, ce qui augmente notablement l'efficacité de la déviation. Remarquer (fig. 3, en haut), que les côtés longitudinaux d'une galette sont très rapprochés des côtés de la galette opposée.

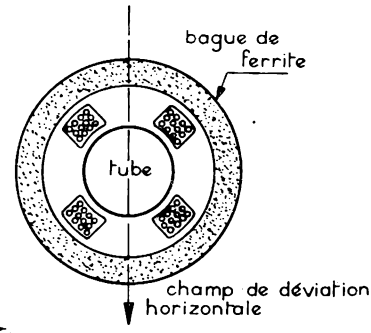


FIG. 4. — *Vue en coupe transversale du bloc de déviation. Les bobines de déviation verticale, non représentées, sont disposées dans les espaces restés libres, perpendiculairement aux bobines de déviation horizontale.* ——————→

3 — LE CHAMP PRODUIT PAR LES EXTRÉMITÉS DES BOBINES PROVOQUE UNE DISTORSION.

Lorsque le faisceau entre ou sort du champ créé par les bobines, il traverse des régions où ce champ n'est pas uniforme. Ceci se traduit par une modification de la focalisation du faisceau, et entraîne une déconcentration de la trace sur l'écran.

De plus, le champ parasite perpendiculaire créé par les côtés transversaux des bobines modifie la déviation prévue et produit l'effet de « coussin » ou de « tonneau » (fig. 5), très visible sur une image géométrique, un quadrillage par exemple.

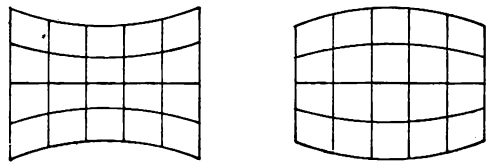


FIG. 5. — *Distorsions dues à la forme des bobines.*

On agit sur ce phénomène en rapprochant ou en éloignant du tube ces côtés transversaux des bobines. C'est ainsi que les galettes acquièrent une forme spéciale, qu'on peut leur donner après bobinage (fig. 6), par pressage sur un gabarit.

4 — EXEMPLE DE BLOC DE DÉVIATION.

Bobines des lignes : inductance 4 mH ; résistance : 3,5 Ω.
Deux galettes de 150 spires de fil émaillé 40/100 mm.
Bobines de trames : inductance 60 mH ; résistance 50 Ω.
Deux galettes de 500 spires de fil émaillé 25/100.

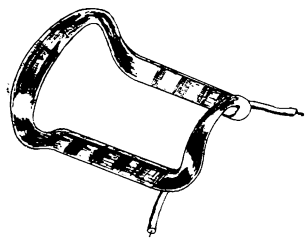


FIG. 6. — *Bobine de déviation horizontale, extraite de la bague de ferrite.*

E. — Les tubes analyseurs

Nous avons étudié, avec les méthodes d'analyse des images, les tubes iconoscope et supericonoscope. Le principe du balayage de ces tubes se conserve dans les tubes plus récents, mais ceux-ci sont plus sensibles, les perfectionnements ayant porté sur la mosaïque et sur la manière de prélever le signal de lumière.

Il faut reconnaître toutefois que le supericonoscope reste le tube donnant les images les plus fines, convenant bien à la haute définition française.

1 — L'ORTHICONOSCOPE (ORTHICON).

Ce tube (représenté en coupe schématique fig. 7), a été imaginé en 1939. Son nom vient du fait que le signal de sortie est bien proportionnel à l'intensité de la lumière (orthos = droit).

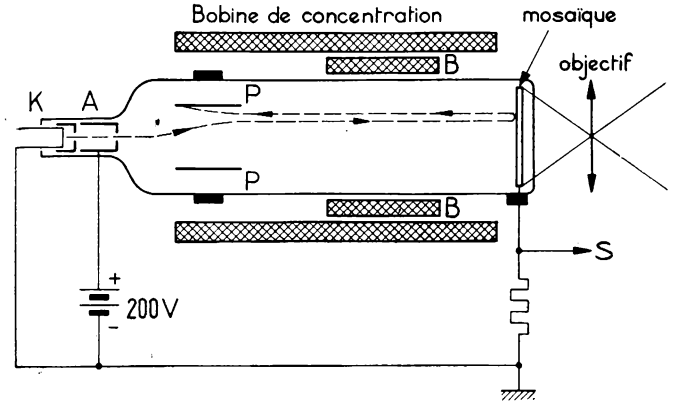


FIG. 7. — *L'orthicon.*

La mosaïque est explorée par un faisceau dévié horizontalement par un champ électrique (plaques P) et verticalement par un champ magnétique (bobines B). Une bobine axiale de concentration oblige le faisceau d'électrons à atteindre la mosaïque perpendiculairement.

Le faisceau quitte le canon avec une accélération de quelque 200 V. La mosaïque étant au potentiel de la cathode (masse), le faisceau, après avoir été dévié, l'atteint avec une vitesse *quasi nulle.*

Lorsque le point atteint sur la mosaïque n'est pas éclairé, les électrons voient leur vitesse s'annuler ; puis ils rebroussent chemin, car ils sont attirés par l'anode du canon. Ils traversent en sens inverse le champ magnétique de déviation, dans lequel ils suivent la même trajectoire qu'à l'aller (loi de la déviation), puis le champ électrique dans lequel ils sont déviés à l'envers par rapport à l'aller. Ils se perdent alors sur les électrodes ou l'anode du canon.

Lorsque le point atteint sur la mosaïque est éclairé, il est chargé positivement (il a émis des photoélectrons). Une partie des électrons

du faisceau est captée par la mosaïque. Le reste revient comme précédemment. Le courant des électrons captés constitue le signal S. Le courant du faisceau de retour est aussi modulé par le signal, par différence.

L'orthicon a environ 50 cm de long et 10 cm de diamètre.

2 — L'ORTHICON-IMAGE.

Ce tube est 100 fois plus sensible que l'iconoscope. La photocathode P (fig. 8) reçoit la lumière. Elle émet des électrons en chaque point proportionnellement à l'éclairement. L'écran E, au potentiel zéro, donc positif par rapport à P, accélère ces électrons. Atteignant cet écran,

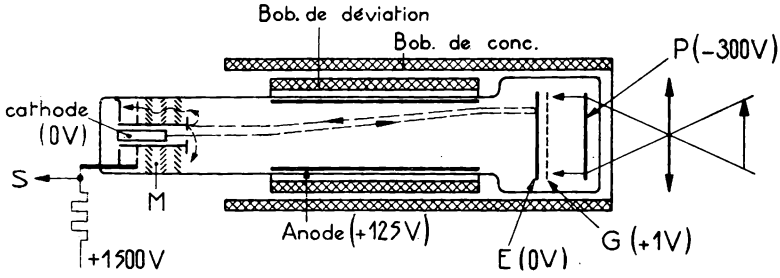


FIG. 8. — *L'image-orthicon.*

ils en extraient des électrons secondaires, opérant ainsi une *multiplication.* Ces électrons sont évacués par une grille G portée à + 1 V.

Le faisceau explorateur est dévié magnétiquement dans les deux directions. Il peut alors « effacer », comme dans l'orthicon, par apport de charges négatives, les points de l'écran E qui sont devenus positifs par émission secondaire.

Le faisceau de retour, modulé par le signal, suit ici le même trajet qu'à l'aller, car les deux déviations sont magnétiques. Il parvient ainsi au voisinage du trou de l'anode du canon, et tombe sur les grilles d'un *multiplicateur d'électrons* M.

3 — LE VIDICON.

Ce tube utilise, non pas l'émission photoélectrique, mais la *variation de résistivité* d'une certaine variété de sélénium sous l'action de la

lumière. Chaque point de la couche photo-sensible se décharge ainsi d'autant plus qu'il est plus éclairé. Le faisceau explorateur (fig. 9) agit alors comme dans les tubes orthicons.

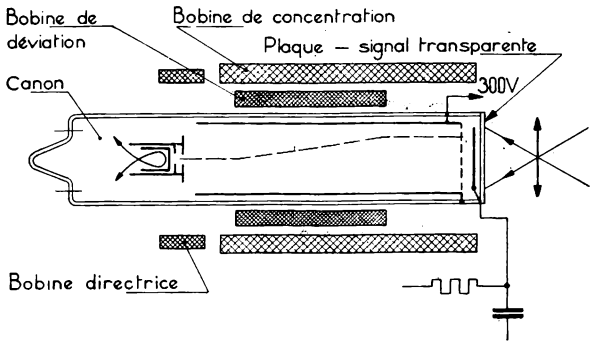


FIG. 9. — *Le vidicon.*

Le vidicon, par son principe, est doué d'une *rémanence* exagérée, mais il est très sensible et très peu encombrant : longueur 15 cm, diamètre 25 mm. Il est très employé en télévision industrielle.

◇

Les Éditions FOUCHER
128, rue de Rivoli
PARIS-1er
N° 1643-462

Imprimé en France

Imp. BUSSIÈRE
24, rue de Juranville
SAINT-AMAND (Cher)
2e trimestre 1962

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I. — *Analyse et reproduction électronique des images.*

A. Principes généraux de la télévision 3
B. Balayage à l'aide d'un faisceau cathodique 7
C. Tubes analyseurs d'images. Principe de l'iconoscope 10
D. Tubes cathodiques de réception 13
Exercices 17

CHAPITRE II. — *Transmission des images.*

A. L'émetteur de télévision 19
B. Propagation des ondes métriques 22
C. Généralités sur le récepteur 28
D. Télévision industrielle 31
Exercices 34

CHAPITRE III. — *Le signal de télévision ou « vidéofréquence ».*

A. Forme de signaux de lumière 37
B. Signaux de synchronisation. Signal complet 40
Exercices 45

CHAPITRE IV. — *Réception et séparation des signaux.*

A. Amplification et détection des signaux modulés 48
B. Amplification en vidéofréquence. Tube cathodique et ses circuits. Contraste et luminosité 57
C. Réception du son 60
D. Séparation des signaux de synchronisation 62
E. Schéma général de la réception des signaux 71
Exercices 72

CHAPITRE V. — *Généralités sur les balayages magnétiques.*

A. Tensions et courants de balayage 80
B. Différences fondamentales entre le balayage horizontal et le balayage vertical 83
C. Organisation des circuits de balayage 84
Exercices 87

CHAPITRE VI. — *Générateurs de courant en dents de scie.*

A. Courant en dents de scie dans une bobine 89
B. L'étage de sortie du balayage horizontal (lignes) 97
C. Compléments sur le balayage horizontal (lignes) 106
D. L'étage de sortie du balayage vertical (trames) 110
Exercices 122

CHAPITRE VII. — *Circuits accessoires dans les télévisions.*

A. Réglage de l'amplification 127
B. Synchronisation par asservissement 131
C. Circuit d'entrée et antenne 133
Exercices 136

CHAPITRE VIII. — *Technologie de quelques pièces détachées de télévision.*

A. Le rotacteur 139
B. Le transformateur de sortie de lignes et la très haute tension 141
C. Les transformateurs à fer : transformateurs de sorties de trames, transformateurs des oscillateurs à blocage 143
D. Le bloc de déviation magnétique 144
E. Les tubes analyseurs 146

FOUCHER

le Livre au service du Métier